อุปกรณ์ควบคุมแบบไร้สายโดยใช้โครงสร้างการเรียนรู้เชิงลึกแบบมีลำดับ

Wireless wearable control device using sequential deep learning model

เกียรติศักดิ์	รัตนาภรณ์	รหัสนักศึกษา	60010101
Kiattisak	Rattanaporn	Student ID	60010101
คุณานนต์	ภัทรวาทิน	รหัสนักศึกษา	60010120
Kunanon	Phattaravatin	Student ID	60010120
วรพิชชา	แดงสกุล	รหัสนักศึกษา	60010895
Woraphicha	Dangskul	Student ID	60010895

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิชาโครงงาน 2

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ควบคุมแบบไร้สายโดยใช้โครงสร้างการเรียนรู้เชิงลึกแบบมีลำดับ

Wireless wearable control device using sequential deep learning model

โดย

เกียรติศักดิ์	รัตนาภรณ์	รหัสนักศึกษา	60010101
Kiattisak	Rattanaporn	Student ID	60010101
คุณานนต์	ภัทรวาทิน	รหัสนักศึกษา	60010120
Kunanon	Phattaravatin	Student ID	60010120
วรพิชชา	แดงสกุล	รหัสนักศึกษา	60010895
Woraphicha	Dangskul	Student ID	60010895

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. ดร.ยุทธนา คิดใจเดียว

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิชาโครงงาน 2

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานวิชาโครงงาน 2

ภาควิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง อุปกรณ์ควบคุมแบบไร้สายโดยใช้โครงสร้างการเรียนรู้เชิงลึกแบบมีลำดับ

Wireless wearable control device using sequential deep learning model

ผู้จัดทำ นายเกียรติศักดิ์ รัตนาภรณ์ รหัสนักศึกษา 60010101

นายคุณานนต์ ภัทรวาทิน รหัสนักศึกษา 60010120

นายวรพิชชา แดงสกุล รหัสนักศึกษา 60010895

รายงานนี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว

.....

ผศ. ดร.ยุทธนา คิดใจเดียว

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงาน	อุปกรณ์ควบคุมแบบไร้สายโดยใช้โครงสร้างการเรียนรู้เชิงลึกแบบมีลำดับ
นักศึกษา	นายเกียรติศักดิ์ รัตนาภรณ์ รหัสประจำตัว 60010101
	นายคุณานนต์ ภัทรวาทิน รหัสประจำตัว 60010120
	นายวรพิชชา แดงสกุล รหัสประจำตัว 60010895
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
ภาควิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
ปีการศึกษา	2563
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ	ผศ. ดร.ยุทธนา คิดใจเดียว

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันเทคโนโลยี IoTs (Internet of Things) เข้ามาเป็นส่วนหนึ่งในชีวิตประจำวัน รวมทั้งเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ โดยคณะผู้จัดทำได้นำเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์แบบเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) มาใช้จดจำลักษณะท่าทางของเครื่องวัดความเร่ง (Accelerometer) ซึ่งเป็นเซ็นเซอร์ที่มีอยู่ในอุปกรณ์ smart device เช่นโทรศัพท์มือถือ smart watch มาสั่งงานเครื่องใช้ไฟฟ้าถายในบ้าน โดยในงานนี้ผู้จัดทำเลือกใช้ M5 Stack fireในการประมวลผลโครงข่ายประสาทเทียมแบบสังวัตนาการ รวมทั้งส่งสัญญาณเพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้ากับตัวผู้ใช้ ผลลัพธ์ที่ได้คือ เมื่อแกว่งแขนหรือโบกมือที่มี smart watch เป็นท่าทางที่ได้กำหนดไว้ แล้วสามารถสั่งงานเครื่องใช้ไฟฟ้าตามที่ตั้งค่าไว้ได้ถูกต้อง โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยการคำนวณจากคอมพิวเตอร์ภายนอก ใช้เพียงแค่คอนโทรลเลอร์เพียงอย่างเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Title	Wireless wearable control device using sequential deep learning model		
Student	Mr. Kiattisak	Rattanaporn	Student ID 60010101
	Mr. Kunanon	Phattaravatin	Student ID 60010120
	Mr. Woraphicha	Dangskul	Student ID 60010895
Degree	Bachelor of Engineering		
Program	Electronics Engineering		
Year	2020		
Project Advisor	Asst. Prof. Dr.Yutthana Kidjaidure		

ABSTRACT

The Internet of Things technology has now become an important part of everyday life. Artificial intelligence technologies are included. We can recognize the gestures through an accelerometer from the smart watch. The Accelerometer is a sensor that used control home appliances in smart devices such as smartphones and smart watches.The authors chose M5 Stack fire to process the convolutional neural network in this work. The final outcome is when the arm or hand is moved with the smart watch as the preset motions, in order to deliver calculated classes to command the electrical devices. We can use the appliances according to the preset class. It doesn't need to rely on external computer calculations. The controller performs the gesture recognition using an end-to-end system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การออกแบบอุปกรณ์ควบคุมแบบไร้สายโดยใช้โครงสร้างการเรียนรู้เชิงลึกให้สำเร็จได้นั้น อันเนื่องมาจากความช่วยเหลือให้ความรู้จากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุทธนา คิดใจเดียว ผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง อีกทั้งขอขอบคุณบิดา มารดาที่ช่วยสนับสนุนด้านทุนทรัพย์และกำลังใจ รวมถึงทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ที่ช่วยให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือต่าง ๆ จนงานสามารถสำเร็จลุล่วงด้วยดี

คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงงานชิ้นนี้จะเป็นประโยชน์ต่อคนรุ่นหลัง หรือคนที่สนใจสามารถนำไปต่อยอดได้ในอนาคต

เกียรติศักดิ์ รัตนาภรณ์

คุณานนต์ ภัทรวาทิน

วรพิชชา แดงสกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VII

สารบัญรูป VIII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1

1.3 ขอบเขตในการจัดทำโครงงาน 1

1.4 ระยะเวลาในการทำโครงงาน 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 โครงข่ายประสาทเทียมแบบสังวัตนาการ (convolution neuron network) 3

2.2 Microcontrollers 8 bit & 32 bit 4

2.3 M5STACK FIRE 5

2.3.1 คุณสมบัติทางเทคนิค 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การต่อวงจรไฟฟ้าภายในบ้าน 7

2.5 อุปกรณ์ไฟฟ้า 9

2.5.1 สายไฟ 9

2.5.2 สะพานไฟ 9

2.5.3 ฟิวส์(Fuse) 10

2.6 รีเลย์(Relay) 12

2.6.1 ส่วนประกอบของรีเลย์ 12

2.6.2 จุดต่อใช้งานมาตรฐาน 12

2.6.3 ข้อคำถึงในการใช้งานรีเลย์ทั่วไป 13

2.6.4 ประเภทของรีเลย์ 14

2.6.5 ชนิดของรีเลย์ 14

2.6.6 ประโยชน์ของรีเลย์ 16

2.6.7 คุณสมบัติที่ดีของรีเลย์ 16

2.7 Accelerometer 17

2.8 Confusion Matrix 21

2.8.1 Accuracy 21

2.8.2 Precision 22

2.8.3 Recall 22

2.8.4 F1 score 22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 หลักการทำงานและการออกแบบ 23
3.1 หลักการทำงาน 23
3.2 การเลือกอุปกรณ์ 23
3.2.1 Controller 23
3.2.2 Relay Module 24
3.2.3 ESP32 25
3.3 การออกแบบและสร้างเครื่องมือ 25
3.3.1 การออกแบบด้านฮาร์ดแวร์ 25
3.3.2 การออกแบบด้านซอร์ฟแวร์ 26
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง 35
4.1 วิธีการทดลอง 35
4.1.1 เก็บข้อมูล 35
4.1.2 เทรนโมเดล 36
4.1.3 หาค่าของ Accuracy ผ่าน confusion matrix 37
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 39
5.1 สรุปผลการทดลอง 39
5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง 39
5.3 ข้อเสนอแนะ 40
บรรณานุกรม 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 เวลาในการจัดทำโครงงาน 2

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลอง 37

ตารางที่ 4.2 การแสดงผลของคลาสต่าง ๆ 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 MobileNet Architecture 3

รูปที่ 2.2 ขอบรูป 4

รูปที่ 2.3 Controllers Structure 4

รูปที่ 2.4 M5STACK FIRE 5

รูปที่ 2.5 ระบบไฟบ้าน 8

รูปที่ 2.6 ระบบการเดินสายไฟภายในบ้าน 8

รูปที่ 2.7 สายไฟ 9

รูปที่ 2.8 สะพานไฟ 10

รูปที่ 2.9 ฟิวส์ 10

รูปที่ 2.10 จุดต่อใช้งานมาตรฐาน 13

รูปที่ 2.11 Accelerometer 17

รูปที่ 2.12 Spring mass system 18

รูปที่ 2.13 piezoelectric accelerometer 20

รูปที่ 2.14 Confusion Matrix 21

รูปที่ 3.1 M5STACK FIRE 24

รูปที่ 3.2 relay module (250V/10A) 8 Channel 24

รูปที่ 3.3 วงจรที่ต่อระหว่าง Esp32 และ relay module 25

รูปที่ 3.4 CNN Block diagram 26

รูปที่ 3.5 ลักษณะการเคลื่อนที่เลข 1 (Class 1) 27

รูปที่ 3.6 สัญญาณรูปเลข 1 น้ำเงิน(แกน x) แดง(แกน y) เขียว(แกน z) ตัวอย่างที่ 1 27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.7 สัญญาณรูปเลข 1 น้ำเงิน(แกน x) แดง(แกน y) เขียว(แกน z) ตัวอย่างที่ 2 27

รูปที่ 3.8 ลักษณะการเคลื่อนที่เลข 2 (Class 2) 28

รูปที่ 3.9 สัญญาณรูปเลข 2 น้ำเงิน(แกน x) แดง(แกน y) เขียว(แกน z) ตัวอย่างที่ 1 28

รูปที่ 3.10 สัญญาณรูปเลข 2 น้ำเงิน(แกน x) แดง(แกน y) เขียว(แกน z) ตัวอย่างที่ 2 28

รูปที่ 3.11 ลักษณะการเคลื่อนที่รูปวงกลม (Class circle) 29

รูปที่ 3.12 สัญญาณรูปวงกลม น้ำเงิน(แกน x) แดง(แกน y) เขียว(แกน z) ตัวอย่างที่ 1 29

รูปที่ 3.13 สัญญาณรูปวงกลม น้ำเงิน(แกน x) แดง(แกน y) เขียว(แกน z) ตัวอย่างที่ 2 29

รูปที่ 3.14 สัญญาณไม่มีการเคลื่อนที่ น้ำเงิน(แกน x) แดง(แกน y) เขียว(แกน z) ตัวอย่างที่ 1 30

รูปที่ 3.15 สัญญาณไม่มีการเคลื่อนที่ น้ำเงิน(แกน x) แดง(แกน y) เขียว(แกน z) ตัวอย่างที่ 2 30

รูปที่ 3.16 Augmentation (Sequence shift) 31

รูปที่ 3.17 Augmentation (Random noise) 31

รูปที่ 3.18 Augmentation (Time warping) 32

รูปที่ 3.19 Augmentation (Movement amplification) 32

รูปที่ 3.20 สัญญาณก่อนการทำ Padding 33

รูปที่ 3.21 สัญญาณหลังการทำ Padding ด้านซ้าย 33

รูปที่ 3.22 สัญญาณหลังการทำ Padding ด้านขวา 34

รูปที่ 4.1 โครงสร้างของข้อมูลที่ต้องจัดเตรียมสำหรับสอนโมเดล (training) 35

รูปที่ 4.2 ภาพขณะเทรนโมเดล nearol network 36

รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบกันระหว่างข้อมูลที่ถูกแบ่งออกเป็นชุดเพื่อนำไปเทรนในแต่ละรอบ 36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

วิชา Project 2 ต้องการให้นักศึกษาค้นความทำโครงงานที่เป็นประโยชน์ โดยคณะผู้จัดทำเล็งเห็นว่าในปัจจุบัน สถานการณ์การแพร่ระบาดของโรค covid-19 มีความจำเป็นที่จะต้องหลีกเลี่ยงการสัมผัส หรือลดการสัมผัสสิ่งของให้น้อยลง ประกอบกับประเทศไทยกำลังเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ และการเข้ามามีบทบาทของเทคโนโลยีแบบไร้สาย คณะผู้จัดทำจึงเล็งเห็นถึงความสำคัญของปัญหาและโอกาสดังกล่าว จึงคิดค้นอุปกรณ์สวมใส่ที่สามารถควบคุมอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านแบบไร้สายที่จะสามารถควบคุมการเปิดปิดอุปกรณ์ต่าง ๆ หรือฟังก์ชันการทำงานอื่นของอุปกรณ์นั้น ๆ ทั้งนี้เพื่อเป็นการอำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้งาน และหลีกเลี่ยงหรือลดการสัมผัสสิ่งของต่าง ๆ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1. นำอุปกรณ์ไร้สายมาควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ภายในบ้าน

1.2.2. นำหลักการการเรียนรู้แบบมีลำดับมาประยุกต์ใช้

1.2.3. ออกแบบระบบที่ใช้ในการสื่อสาร ประมวลผล เพื่อควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ

1.3 ขอบเขตในการจัดทำโครงงาน

1.3.1. อุปกรณ์สามารถใช้ควบคุมอุปกรณ์ ในสภาพแวดล้อมที่จำลองขึ้นได้

1.3.2. อุปกรณ์ไร้สายสามารถสื่อสารกับหน่วยประมวลผลได้

1.3.3. ระบบสามารถควบคุมอุปกรณ์ภายในบ้านผ่านการประมวลผลโดยใช้การเรียนรู้แบบมีลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ระยะเวลาในการทำโครงงาน

ตารางที่ 1.1 เวลาในการจัดทำโครงงาน

ตั้งแต่วันที่ 14 มกราคม 2564 ถึงวันที่ 30 พฤศจิกายน 2563

เดือน/ สัปดาห์ / รายละเอียด	ม.ค.		ก.พ.				มี.ค.				เม.ย.			
	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1. ทฤษฎี/ซื้ออุปกรณ์	✓	✓	✓	✓	✓									
2. ประกอบชุดทดลอง				✓	✓	✓	✓							
3. เก็บผลการทดลอง								✓	✓	✓				
4. สรุปผลการทดลอง											✓	✓		
5. เขียนรายงาน				✓			✓		✓				✓	✓

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้นำความรู้เกี่ยวกับระบบโครงข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์กับการควบคุมอุปกรณ์

1.5.2 ได้ศึกษา ออกแบบ ระบบของ Hardware ให้มีความเข้ากันได้กับ Software ได้อย่างเหมาะสม

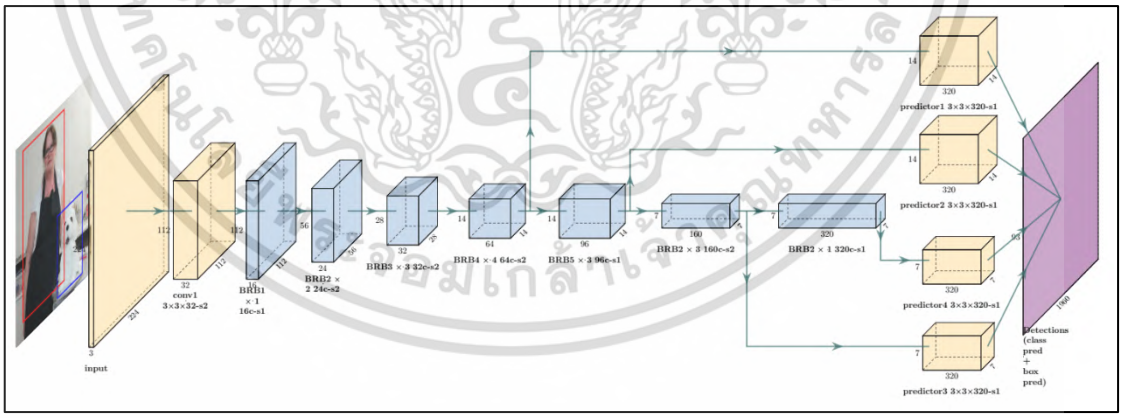
1.5.3 ศึกษาบอร์ด controller หลายหลายชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 โครงข่ายประสาทเทียมแบบสังวัตนาการ (convolution neuron network)

Convolutional Neural Network เป็นโครงข่ายประสาทที่เค้ามีไอเดียในการแก้ปัญหาทางด้านรูปภาพ ซึ่งในเวลานั้นถือเป็นการปฏิวัติวงการ Image Recognition การทำงานแบบคร่าว ๆ มีรูปมาใช้ นำรูปมาเข้ากระบวนการ Convolution เพื่อเพิ่มรายละเอียด เพิ่ม Noise ให้กับรูป Input จากนั้นก็ใส่ Polling เข้าไป (มีหลายแบบ Average, Max) คือ ทำไปเพื่อให้มันช่วยในการหา Pattern ในขั้นตอนต่อไป จากนั้นก็นำ output ที่ได้ ส่งต่อไปให้กับโมเดล Neural Network เพื่อเรียนรู้ปรับ Weight และ ทำให้เกิดกระบวนการสอนให้รู้ว่าแต่ละ Combination ของ Feature ที่ถ่วงน้ำหนักมาแล้วนั้นหมายถึงอะไร โดยกระบวนเรียนรู้จะถูกทำซ้ำเพื่อปรับค่าพารามิเตอร์หลายๆรอบ (Epoch) เพื่อให้ค่า Error จากการทำนายลดลงในแต่ละรอบ

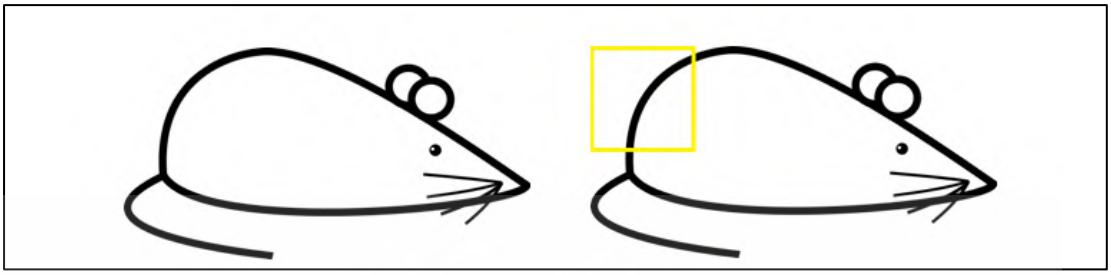


รูปที่ 2.1 MobileNet Architecture

Convolutional Neural Network (CNN) หรือ โครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชัน เป็นโครงข่ายประสาทเทียมหนึ่งในกลุ่ม bio-inspired โดยที่ CNN จะจำลองการมองเห็นของมนุษย์ที่มองพื้นที่เป็นที่ย่อย ๆ และนำกลุ่มของพื้นที่ย่อย ๆ มาผสานกัน การมองพื้นที่ย่อยของมนุษย์จะมีการแยก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณลักษณะ (feature) ของพื้นที่ย่อยนั้น เช่น ลายเส้น และการตัดกันของสี ซึ่งการที่มนุษย์รู้ว่าพื้นที่ตรงนี้เป็นเส้นตรงหรือสีตัดกัน เพราะมนุษย์ดูทั้งจุดที่สนใจและบริเวณรอบ ๆ ประกอบกัน

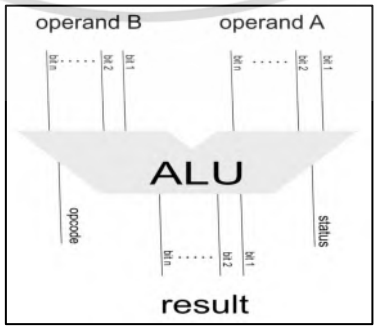


รูปที่ 2.2 ขอบรูป

ถ้าเปรียบว่ากรอบสีเหลี่ยมสีเหลือง คือพื้นที่ที่มนุษย์กำลังให้ความสนใจอยู่ แต่สามารถรับรู้ได้ว่าสิ่งนี้คือหนู เพราะกวาดสายตามองรอบ ๆ

2.2 Microcontrollers 8 bit & 32 bit

microcontrollers (mcu) มีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ หน่วยความจำ (memory) ส่วนที่ติดต่อกับวงจรภายนอก(IO) และที่ขาดไม่ได้เลยก็คือ ส่วนสำหรับคำนวนทางคณิตศาสตร์ ที่เรียกว่า arithmetic and logical unit (ALU) โดยตัว ALU จะเป็นตัวบอกความสามารถในการประมวลผลของแต่ละคำสั่งการทำงาน ซึ่งอยู่ในรูปแบบของสัญญาณไฟฟ้าที่ต่อเข้าหาตัว ALU เราเรียกว่า บิต (bit) ยกตัวอย่างเช่น 8bit คือ ALU สามารถประมวลได้ครั้งละ 8 ช่องสัญญาณ 16 bit และ 32 bit ตามลำดับ



รูปที่ 2.3 Controllers Structure

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแตกต่างของ bit มีดังนี้

MCU 8 bit

- ราคาถูก
- ใช้งานง่ายมีข้อมูลให้อ้างอิง
- ออกแบบวงจรประกอบง่ายเพราะทนต่อสัญญาณรบกวน
- ใช้ไฟเลี้ยงที่มาตรฐานเท่ากันทั้งวงจร ง่ายต่อการออกแบบ
- ความร้อนที่เกิดขึ้นขณะทำงานน้อย

MCU 32 bit

- เครื่องมือในการพัฒนาค่อนข้างแพง
- เหมาะสำหรับงานที่ต้องการพลังในการประมวลผลเยอะ
- ต้องออกแบบวงจรแหล่งจ่ายไฟแยก

2.3 M5STACK FIRE

รูปที่ 2.4 M5STACK FIRE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

M5STACK FIRE คือชุดพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ที่มี WiFi และบลูทูธกำลังงานต่อหรือ BLE ในตัวที่มาพร้อมกับหน่วยความจำที่มากขึ้นทั้งแฟลชถึง 16MB และเพิ่มพิเศษกับ PSRAM 4MB ที่ทำให้การโค้ดดิ้งเพื่อพัฒนาโครงงานหรือสินค้า IoT ไปได้ในอีกระดับภายใต้งบประมาณที่เหมาะสม ทั้งยังมีอุปกรณ์สนับสนุนมาครบครันในกล่องเดียว ไม่ว่าจะเป็นจอแสดงผล TFT LCD ขนาด 2 นิ้ว ความละเอียด 320 x 240 พิกเซล มีลำโพง ปุ่มกด ตัวตรวจจับความเร่งและไจโรแบบ 3 แกน และแบตเตอรี่แบบประจุได้รวมถึงวงจรประจุแบตเตอรี่มาพร้อมใช้งานบรรจุลงในกล่องขนาด 5 x 5 เซนติเมตรที่มีฐานกล่องเป็นแม่เหล็ก

2.3.1 คุณสมบัติทางเทคนิค

1. ติดตั้งโมดูลไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 จาก Espressif Systems ซึ่งใช้ซีพียูแกนคู่ Tensilica LX6 ความถี่ 240MHz มีหน่วยความจำ SRAM 512 กิโลไบต์ หน่วยความจำแฟลช 16 เมกะไบต์ หน่วยความจำ PSRAM 4 เมกะไบต์ มีวงจร WiFi 802.11 b/g/n HT40 และบลูทูธกำลังต่ำ (BLE) พร้อมติดตั้งสายอากาศ 3D ในตัว

2. มีจอแสดงผล TFT LCD สี ขนาด 2 นิ้ว ความละเอียด 320 x 210 พิกเซลมีปุ่มกด 3 ปุ่ม เชื่อมต่อพอร์ต USB เพื่อประจุแบตเตอรี่และอัปโหลดโค้ดผ่านไอซีแปลงสัญญาณ USB เป็น UART ของ Silicon LAB เบอร์ CP2104

3. มีพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแบบ Groove I/O, I2C และ UART รองรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์ผ่านระบบบัส I2C, I2S และ UART

4. ติดตั้งตัวตรวจจับความเร่งและไจโร 3 แกนเบอร์ MPU6050 และตัวตรวจจับสนามแม่เหล็ก 3 แกน MAG3110

5. วงจรขยายเสียงกำลังขับ 1 วัตต์ พร้อมลำโพงในตัว ไมโครโฟนในตัว LED 3 สี RGB 10 ดวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. มีวงจรจัดการพลังงานที่ใช้ชิป EA3036 ได้ไฟเลี้ยงของระบบเป็น +3.3V และ +5V มีแบตเตอรี่ 3.7V 550mAH แบบลิเธียมอิออนในตัว พร้อมวงจรประจุแบตเตอรี่ผ่านพอร์ต USB TYPE C

7. ซ็อกเก็ต microSD การ์ด รองรับได้สูงสุด 16GB

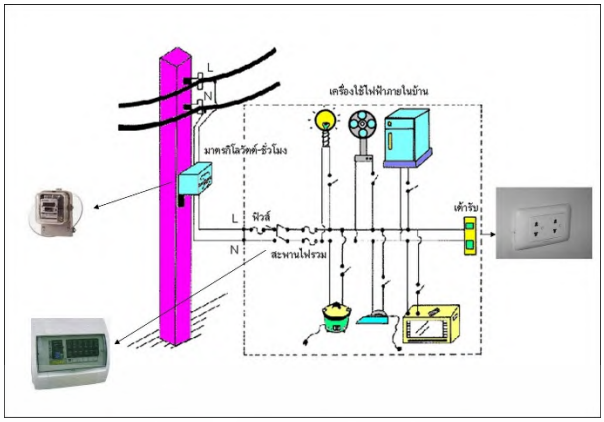
8. บรรจุลงในกล่องขนาด 5 x 5 เซนติเมตร ที่ฐานกล่องติดตั้งแถบแม่เหล็ก เมื่อวางบนพื้นโลหะ บอร์ดจะเกาะติดได้มั่นคง ไม่ลื่น

9. พัฒนาโปรแกรมด้วย Arduino IDE และ ESP-IDF จาก Espressif Systems หรือ MicroPython พร้อมตัวอย่างโปรแกรมและไลบรารีสนับสนุนการทำงานจำนวนมาก ดูตัวอย่างโปรแกรมและเอกสารทางเทคนิคได้ที่ https://github.com/m5Stack

2.4 การต่อวงจรไฟฟ้าภายในบ้าน

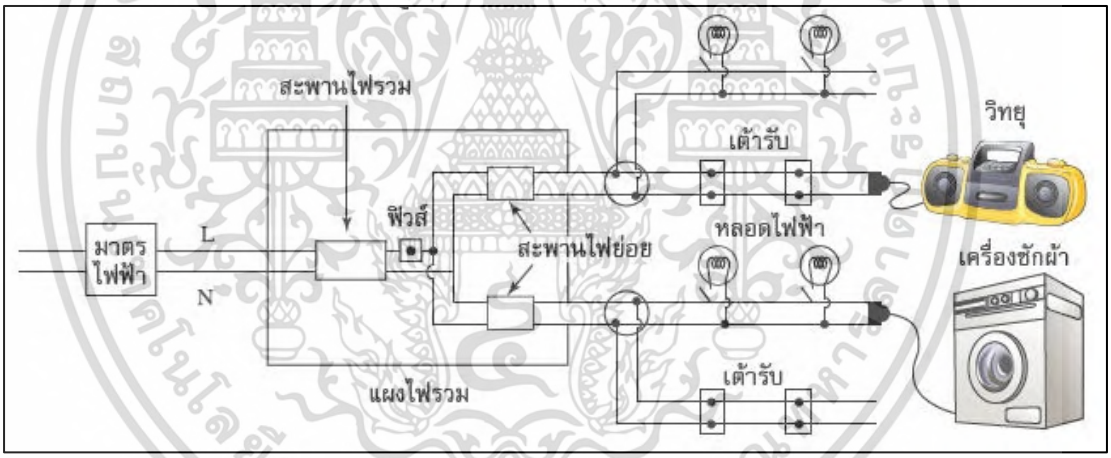
วงจรไฟฟ้าภายในบ้าน ส่วนใหญ่จะเป็นการต่อแบบขนาน ซึ่งเป็นการต่อวงจรทำให้อุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดอยู่คนละวงจร ซึ่งถ้าเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดหนึ่งเกิดขัดข้องเนื่องจากสาเหตุใดก็ตาม เครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดอื่นก็ยังคงใช้งานได้ตามปกติเพราะไม่ได้อยู่ในวงจรเดียวกันไฟฟ้าที่ใช้ในบ้านเรือนทั่วไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับมีความต่างศักย์ 220 โวลต์ การส่งพลังงานไฟฟ้าเข้าบ้านจะใช้สายไฟ 2 เส้น คือ สายกลาง หรือสาย N มีศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์ และสายไฟ หรือสาย L มีศักย์ไฟฟ้าเป็น 220 โวลต์ โดยปกติสาย L และสาย N ที่ต่อเข้าบ้านจะต่อเข้ากับแผงควบคุมไฟฟ้า ซึ่งเป็นที่ควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดในบ้านอย่างมีระบบ บนแผงควบคุมไฟฟ้ามักจะประกอบด้วยฟิวส์รวม สะพานไฟรวม และสะพานไฟย่อย โดยสะพานไฟย่อยมีไว้เพื่อแยกและควบคุมการส่งพลังงานไฟฟ้าไปยังวงจรไฟฟ้าย่อยตามส่วนต่างๆ ของบ้านเรือน เช่น วงจรชั้นล่าง วงจรชั้นบน วงจรในครัว เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ระบบไฟบ้าน

ในวงจรไฟฟ้าในบ้าน กระแสไฟฟ้าจะผ่านมาตรไฟฟ้าทางสาย L เข้าสู่สะพานไฟ ผ่านฟิวส์และสวิตช์ แล้วไหลผ่านเครื่องใช้ไฟฟ้า ดังนั้นกระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านสาย N ออกมา ดังรูป



รูปที่ 2.6 ระบบการเดินสายไฟภายในบ้าน

วงจรไฟฟ้าในบ้านประกอบด้วยอุปกรณ์ไฟฟ้าและเครื่องใช้ไฟฟ้า

วงจรปิด คือ วงจรไฟฟ้าที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ครบวงจร

วงจรเปิด คือ วงจรไฟฟ้าที่ส่วนใดส่วนหนึ่งของวงจรไฟฟ้าขาด ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไม่ได้

อุปกรณ์ไฟฟ้าที่จำเป็นต่อวงจรไฟฟ้าในบ้าน ได้แก่ สายไฟ ฟิวส์ สะพานไฟ สวิตช์ เต้ารับ และ เต้าเสียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

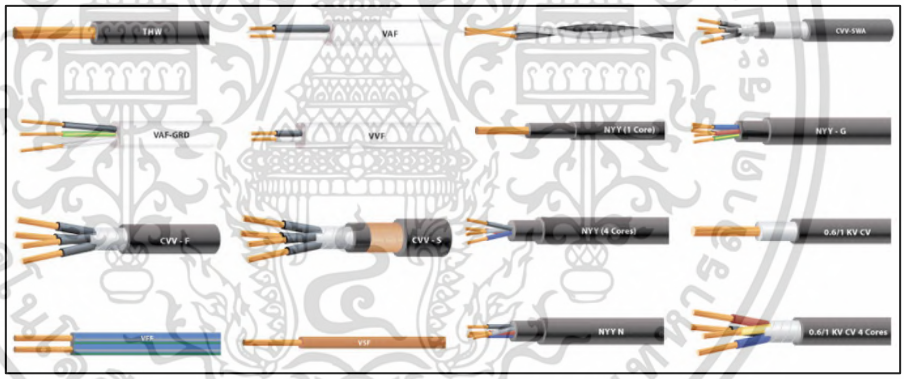
2.5 อุปกรณ์ไฟฟ้า

2.5.1 สายไฟ

สายไฟเป็นอุปกรณ์สำหรับส่งพลังงานไฟฟ้าจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง โดยกระแสไฟฟ้าจะนำพลังงานไฟฟ้าผ่านไปตามสายไฟจนถึงเครื่องใช้ไฟฟ้า สายไฟทำด้วยสารที่มีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้า (ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ดี) ได้แก่

1. สายไฟแรงสูง ทำด้วยอะลูมิเนียม เพราะอะลูมิเนียม มีราคาถูกและน้ำหนักเบากว่าทองแดง (อะลูมิเนียมมีความต้านทาน สูงกว่าทองแดง)

2. สายไฟทั่วไป (สายไฟในบ้าน) ทำด้วยโลหะทองแดง เพราะทองแดงมีราคาถูกกว่าโลหะเงิน (เงินมีความต้านทานน้อยกว่า ทองแดง)



รูปที่ 2.7 สายไฟ

2.5.2 สะพานไฟ

สะพานไฟ หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์(circuit breaker) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ตัดตอนแหล่งจ่ายไฟออกจากวงจรไฟฟ้าลูก เช่น ตัดวงจรไฟฟ้าภายในบ้านออกจากแหล่งจากไฟภายนอกเป็นต้น นอกจากทำหน้าที่เป็นสวิตซ์ไฟฟ้าเมื่อผู้ใช้สั่งการแล้ว ยังทำหน้าที่ตัดการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ่ายไฟโดยอัตโนมัติได้เมื่อมีเหตุ ไฟฟ้าลัดวงจร ไฟดูด ไฟรั่ว ไฟตก ไฟเกิน ได้แล้วแต่ความสามารถของสะพานไฟที่ใช้

รูปที่ 2.8 สะพานไฟ

2.5.3 ฟิวส์(Fuse)

ฟิวส์ เป็นอุปกรณ์นิรภัยชนิดหนึ่งที่อยู่ในเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยจะป้องกันการลัดวงจรและการใช้กระแสเกินในวงจรไฟฟ้า โดยจะหลอมละลาย และตัดกระแสไฟออกจากวงจรเพื่อป้องการอุปกรณ์เสียหาย โดยฟิวส์จะเป็นเส้นลวดเล็ก ๆ ทำจากตะกั่วผสมดีบุก มีจุดหลอมเหลวที่ต่ำ มีหลายชนิดให้เลือกใช้ตามความเหมาะสมของการใช้งาน

รูปที่ 2.9 ฟิวส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของฟิวส์

1. ฟิวส์เป็นโลหะผสมประกอบด้วยบิสมัท (Bi) ร้อยละ 50 ตะกั่ว (Pb) ร้อยละ 25 และดีบุก (Sn) ร้อยละ 25 โดยมวล

2. ฟิวส์มีจุดหลอมเหลวต่ำ ขณะที่กระแสไฟฟ้าผ่านฟิวส์ พลังงานไฟฟ้าจะเปลี่ยนเป็น พลังงาน ความร้อนให้กับฟิวส์เล็กน้อย แต่เมื่อมีการใช้กระแสไฟฟ้ามากเกินกำหนด หรือเกิดไฟฟ้าลัดวงจร กระแสไฟฟ้าปริมาณมากจะผ่านฟิวส์ พลังงานไฟฟ้าจะเปลี่ยน เป็นพลังงานความร้อนให้กับฟิวส์มากขึ้น จนฟิวส์หลอมละลาย ทำให้วงจรไฟฟ้าในบ้าน ถูกตัดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านอีกไม่ได้

หลักเกณฑ์ในการเลือกใช้ฟิวส์

ฟิวส์ที่ใช้ตามบ้านมีหลายขนาด เช่น ขนาด 10, 15 และ 30 แอมแปร์ ฟิวส์ขนาด 15 แอมแปร์คือ ฟิวส์ที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าผ่านได้ไม่เกิน 15 แอมแปร์ ถ้ากระแสไฟฟ้าผ่านมากกว่านี้ ฟิวส์จะหลอมละลาย ทำให้วงจรขาด ดังนั้น การเลือกใช้ฟิวส์จึงต้องเลือกขนาดของฟิวส์ให้พอเหมาะกับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 รีเลย์(Relay)

เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานแม่เหล็ก เพื่อใช้ในการดึงดูดหน้าสัมผัสของคอนแทคให้เปลี่ยนสภาวะ โดยการป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวด เพื่อทำการปิดหรือเปิดหน้าสัมผัสคล้ายกับสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเราสามารถนำรีเลย์ไปประยุกต์ใช้ ในการควบคุมวงจรต่าง ๆ ในงานช่างอิเล็กทรอนิกส์มากมาย

2.6.1 ส่วนประกอบของรีเลย์

1. ส่วนของขดลวด (coil) เหนี่ยวนำกระแสต่ำ ทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าให้แกนโลหะไปกระทุ้งให้หน้าสัมผัสต่อกัน ทำงานโดยการรับแรงดันจากภายนอกต่อคร่อมที่ขดลวดเหนี่ยวนำนี้ เมื่อขดลวดได้รับแรงดัน(ค่าแรงดันที่รีเลย์ต้องการขึ้นกับชนิดและรุ่นตามที่ผู้ผลิตกำหนด) จะเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้แกนโลหะด้านในไปกระทุ้งให้แผ่นหน้าสัมผัสต่อกัน

2. ส่วนของหน้าสัมผัส (contact) ทำหน้าที่เหมือนสวิตช์จ่ายกระแสไฟให้กับอุปกรณ์ที่เราต้องการนั่นเอง

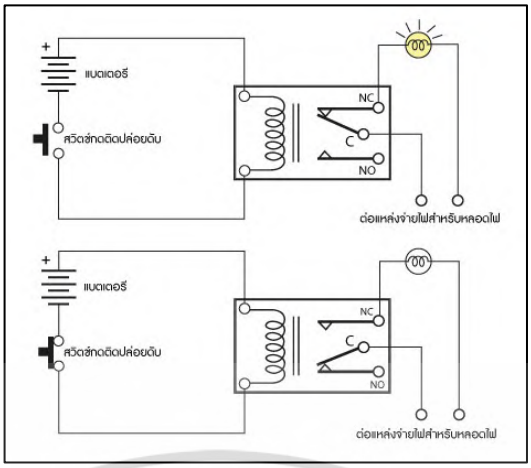
2.6.2 จุดต่อใช้งานมาตรฐาน

จุดต่อ NC ย่อมาจาก normal close หมายความว่าปกติดปิด หรือ หากยังไม่จ่ายไฟให้ขดลวดเหนี่ยวนำหน้าสัมผัสจะติดกัน โดยทั่วไปเรามักต่อจุดนี้เข้ากับอุปกรณ์หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการให้ทำงานตลอดเวลาเช่น

จุดต่อ NO ย่อมาจาก normal open หมายความว่าปกติเปิด หรือหากยังไม่จ่ายไฟให้ขดลวดเหนี่ยวนำหน้าสัมผัสจะไม่ติดกัน โดยทั่วไปเรามักต่อจุดนี้เข้ากับอุปกรณ์หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการควบคุมการเปิดปิดเช่นโคมไฟสนามหนือหน้าบ้าน

จุดต่อ C ย่อมากจาก common คือจุดร่วมที่ต่อมาจากแหล่งจ่ายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 จุดต่อใช้งานมาตรฐาน

2.6.3 ข้อคำถึงในการใช้งานรีเลย์ทั่วไป

1. แรงดันใช้งาน หรือแรงดันที่ทำให้รีเลย์ทำงานได้ หากเราดูที่ตัวรีเลย์จะระบุค่าแรงดันใช้งานไว้ (หากใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์ ส่วนมากจะใช้แรงดันกระแสตรงในการใช้งาน) เช่น 12VDC คือต้องใช้แรงดันที่ 12 VDC เท่านั้นหากใช้มากกว่านี้ ขดลวดภายใน ตัวรีเลย์อาจจะขาดได้ หรือหากใช้แรงดันต่ำกว่ามาก รีเลย์จะไม่ทำงาน ส่วนในการต่อวงจรนั้นสามารถต่อขั้วใดก็ได้ครับ เพราะตัวรีเลย์ จะไม่ระบุขั้วต่อไว้ (นอกจากชนิดพิเศษ)

2. การใช้งานกระแสผ่านหน้าสัมผัส ซึ่งที่ตัวรีเลย์จะระบุไว้ เช่น 10A 220AC คือหน้าสัมผัสของรีเลย์นั้นสามารถทนกระแสได้ 10 แอมแปร์ที่ 220VAC ครับ แต่การใช้ก็ควรจะใช้งานที่ระดับกระแสต่ำกว่านี้จะเป็นการดีกว่าครับ เพราะถ้ากระแสมากหน้าสัมผัส ของรีเลย์จะละลายเสียหายได้

3. จำนานหน้าสัมผัสการใช้งาน ควรดูว่ารีเลย์นั้นมีหน้าสัมผัสให้ใช้งานกี่อัน และมีขั้วคอมมอนด้วยหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.4 ประเภทของรีเลย์

เป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่เป็นสวิตช์มีหลักการทำงานคล้ายกับ ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าหรือโซลินอยด์ (solenoid) รีเลย์ใช้ในการควบคุมวงจร ไฟฟ้าได้อย่างหลากหลาย รีเลย์เป็นสวิตช์ควบคุมที่ทำงานด้วยไฟฟ้า แบ่งออกตามลักษณะการใช้งานได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. รีเลย์กำลัง (power relay) หรือมักเรียกกันว่าคอนแทกเตอร์ (Contactor or Magneticcontactor)ใช้ในการควบคุมไฟฟ้ากำลัง มีขนาดใหญ่กว่ารีเลย์ธรรมดา

2. รีเลย์ควบคุม (control Relay) มีขนาดเล็กกำลังไฟฟ้าต่ำ ใช้ในวงจรควบคุมทั่วไปที่มีกำลังไฟฟ้าไม่มากนัก หรือเพื่อการควบคุมรีเลย์หรือคอนแทกเตอร์ขนาดใหญ่ รีเลย์ควบคุม บางทีเรียกกันง่าย ๆ ว่า "รีเลย์"

2.6.5 ชนิดของรีเลย์

การแบ่งชนิดของรีเลย์สามารถแบ่งได้ 11 แบบ คือ

ชนิดของรีเลย์แบ่งตามลักษณะของคอยล์ หรือ แบ่งตามลักษณะการใช้งาน (Application) ได้แก่รีเลย์ดังต่อไปนี้

1. รีเลย์กระแส (Current relay) คือ รีเลย์ที่ทำงานโดยใช้กระแสมีทั้งชนิดกระแสขาด (Under- current) และกระแสเกิน (Over current)

2. รีเลย์แรงดัน (Voltage relay) คือ รีเลย์ ที่ทำงานโดยใช้แรงดันมีทั้งชนิดแรงดันขาด (Under-voltage) และ แรงดันเกิน (Over voltage)

3. รีเลย์ช่วย (Auxiliary relay) คือ รีเลย์ที่เวลาใช้งานจะต้องประกอบเข้ากับรีเลย์ชนิดอื่น จึงจะทำงานได้

4. รีเลย์กำลัง (Power relay) คือ รีเลย์ที่รวมเอาคุณสมบัติของรีเลย์กระแส และรีเลย์แรงดันเข้าด้วยกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. รีเลย์เวลา (Time relay) คือ รีเลย์ที่ทำงานโดยมีเวลาเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 4 แบบ คือ

1. รีเลย์กระแสเกินชนิดเวลาผกผันกับกระแส (Inverse time over current relay) คือ รีเลย์ ที่มีเวลาทำงานเป็นส่วนกลับกับกระแส

2. รีเลย์กระแสเกินชนิดทำงานทันที (Instantaneous over current relay) คือรีเลย์ที่ทำงานทันทีทันใดเมื่อมีกระแสไหลผ่านเกินกว่าที่กำหนดที่ตั้งไว้

3. รีเลย์แบบดิฟฟินิตไทม์เล็ก (Definite time lag relay) คือ รีเลย์ ที่มีเวลาการทำงานไม่ขึ้นอยู่กับความมากน้อยของกระแสหรือค่าไฟฟ้าอื่นๆ ที่ทำให้เกิดงานขึ้น

4. รีเลย์แบบอินเวอสดิฟฟินิตมินิมั่มไทม์เล็ก (Inverse definite time lag relay) คือ รีเลย์ ที่ทำงานโดยรวมเอาคุณสมบัติของเวลาผกผันกับกระแส (Inverse time) และ แบบดิฟฟินิตไทม์แล็ก (Definite time lag relay) เข้าด้วยกัน

6. รีเลย์กระแสต่าง (Differential relay) คือ รีเลย์ที่ทำงานโดยอาศัยผลต่างของกระแส

7. รีเลย์มีทิศ (Directional relay) คือรีเลย์ที่ทำงานเมื่อมีกระแสไหลผิดทิศทาง มีแบบรีเลย์กำลังมีทิศ (Directional power relay) และรีเลย์กระแสมีทิศ (Directional current relay)

8. รีเลย์ระยะทาง (Distance relay) คือ รีเลย์ระยะทาง

9. รีเลย์อุณหภูมิ (Temperature relay) คือ รีเลย์ที่ทำงานตามอุณหภูมิที่ตั้งไว

10. รีเลย์ความถี่ (Frequency relay) คือ รีเลย์ที่ทำงานเมื่อความถี่ของระบบต่ำกว่าหรือมากกว่าที่ตั้งไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. บูคโฮลซ์รีเลย์ (Buchholz ‘s relay) คือรีเลย์ที่ทำงานด้วยก๊าซ ใช้กับหม้อแปลงที่แช่อยู่ในน้ำมันเมื่อเกิด ฟอลต์ ขึ้นภายในหม้อแปลง จะทำให้น้ำมันแตกตัวและเกิดก๊าซขึ้นภายในไปดันหน้าสัมผัส ให้รีเลย์ทำงาน

2.6.6 ประโยชน์ของรีเลย์

1. ทำให้ระบบส่งกำลังมีเสถียรภาพ (Stability) สูงโดยรีเลย์จะตัดวงจรเฉพาะส่วนที่เกิดผิดปกติ ออกเท่านั้น ซึ่งจะเป็นการลดความเสียหายให้แก่ระบบน้อยที่สุด

2. ลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมส่วนที่เกิดผิดปกติ

3. ลดความเสียหายไม่เกิดลุกลามไปยังอุปกรณ์อื่น ๆ

4. ทำให้ระบบไฟฟ้าไม่ดับทั้งระบบเมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นในระบบ

2.6.7 คุณสมบัติที่ดีของรีเลย์

1. ต้องมีความไว (Sensitivity) คือมีความสามารถในการตรวจพบสิ่งที่ผิดปกติเพียงเล็กน้อยได้

2. มีความเร็วในการทำงาน (Speed) คือความสามารถทำงานได้รวดเร็วทันใจ ไม่ทำให้เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์และไม่กระทบกระเทือนต่อระบบ โดยทั่วไปแล้วเวลาที่ใช้ในการตัดวงจรจะขึ้นอยู่กับระดับของแรงดันของระบบ

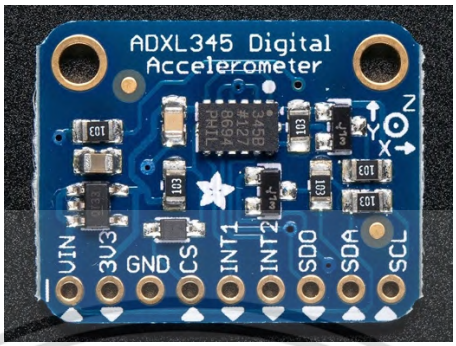
ระบบ 6-10 เควี จะต้องตัดวงจรภายในเวลา 1.5-3.0 วินาที

ระบบ 100-220 เควี จะต้องตัดวงจรภายในเวลา 0.15-0.3 วินาที

ระบบ 300-500 เควี จะต้องตัดวงจรภายในเวลา 0.1-0.12 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 Accelerometer



รูปที่ 2.11 Accelerometer

Accelerometer คือ เครื่องวัดความเร่ง ของการเคลื่อนที่ขอ งวัตถุ พบได้ในสมาร์ทโฟนทั่วไป เช่น iPhone ตัวอย่างการใช้งาน เช่น การเขย่าเพื่อเปลี่ยนเพลง หรือการเขย่าตัวเครื่องเพื่อใช้ในการควบคุมการเล่นเกม ทั้งหมดเป็นคุณสมบัติของ accelerometer ที่ติดมาในเครื่องแปลตรงตัว คือ Acceleration + Meter หรือมิเตอร์ความเร่ง จากนิยาม หมายถึง Sensor วัดความเร่งเพิ่มขึ้นหรือลดลง (หน่วย m/s^2)

โครงสร้างของ accelerometer จะประกอบด้วยสปริงและลูกตุ้มน้ำหนักเมื่อมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร่งลูกตุ้มน้ำหนักจะถูกกดไปอีกฝั่งตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ สปริงก็ทำหน้าที่ดึงกลับเข้าที่อีกครั้งเมื่อหยุดการเคลื่อนที่ การเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่คือความเร่งเท่ากับศูนย์ ค่าที่วัดได้ก็จะไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนตัวเซ็นเซอร์ภายใน ที่จะใช้ในการตรวจวัดความเร่งของลูกตุ้มที่อยู่ในระบบนั้นมีหลายชนิด เช่น เพียโซอิเล็กทริค, สเตรนเกจ, ชนิดใช้แสงตรวจวัด, วัดแรงเฉือนเป็นต้น

โดยที่สามารถแบ่งลักษณะการตรวจวัดได้ 2 ลักษณะ

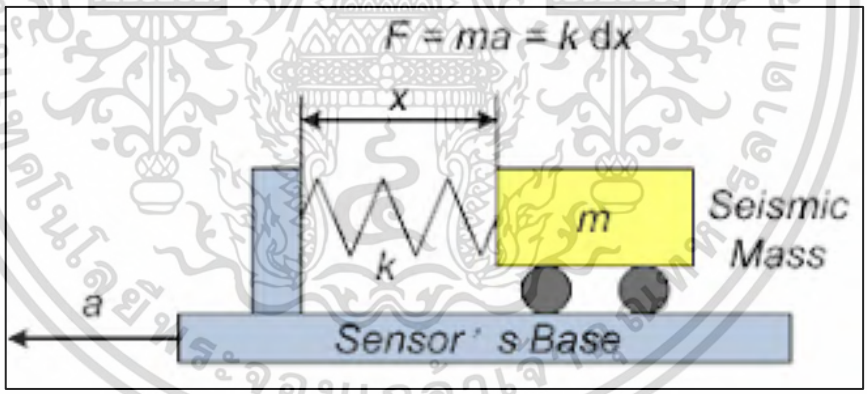
1. การตรวจวัดการช็อก (shock) และการสั่นสะเทือน (vibration)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การตรวจวัดอัตราเร่งของวัตถุ เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการระบุตำแหน่ง ความเร็ว และระยะทางที่ได้จากการเคลื่อนที่

มิเตอร์วัดความเร่งนี้โดยหลัก ๆ แล้วจะแบ่งเป็น 2 ชนิด

1. มิเตอร์วัดอัตราเร่งแบบไซซมิกแมส (seismic mass accelerometer)มิเตอร์ชนิดนี้อาศัยหลักการตรวจวัดระยะขจัดเชิงเส้นแล้วนำไปคำนวณหาอัตราเร่งที่เกิดขึ้นโดยเทคนิคดังกล่าวสามารถอธิบายง่ายๆ ได้ก็คือ วัตถุชิ้นหนึ่งจะมีความเร่งได้ ก็จะต้องมีแรงมากระทำ ยิ่งมีแรงมากระทำมาก ก็จะยิ่งมีความเร่งมาก ในขณะเดียวกันแรงต้านการเคลื่อนที่ก็จะมากด้วยนอกจากนี้เมื่อมีแรงมาทำให้วัตถุเกิดการเคลื่อนที่ ก็จะมีระยะขจัด ซึ่งก็จะแปรผันตรงกับแรงที่มากระทำที่วัตถุ ยิ่งแรงมากระยะขจัดยิ่งมากจากความสัมพันธ์ดังกล่าวได้นำไปใช้เป็นหลักการพื้นฐานของมิเตอร์วัดอัตราเร่งแบบไซซมิกแมสในการตรวจวัดอัตราเร่งของวัตถุในเทอมของระยะขจัดที่เกิดขึ้น



รูปที่ 2.12 Spring mass system

โครงสร้างนี้มีมวล m ที่เรียกว่ามวลตรวจการสั่นไหว (seismic mass) ยึดติดอยู่กับสปริงที่มีค่า spring constant เท่ากับ k และมวลนี้สามารถเคลื่อนที่ในแนวระดับได้ซึ่งหลักการทำงาน ไม่ได้ซับซ้อนเมื่อตัวเซนเซอร์ตัวนี้ถูกทำให้มีอัตราเร่งเกิดขึ้นจะส่งผลให้มวล m เคลื่อนที่ซึ่งระยะที่เคลื่อนที่ออกไปจะเป็นระยะขจัดเท่ากับ x และมีทิศทางตรงกันข้ามกับการเคลื่อนที่ของตัวมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นอัตราเร่ง a ของวัตถุสามารถคำนวณหาค่าได้จากความสัมพันธ์ต่อไปนี้

a = xk/m โดยที่

a คือ อัตราเร่งของวัตถุ หน่วย เมตร/วินาที

x คือ ระยะขจัดของมวล m หน่วย เมตร

k คือ ค่าคงที่ของสปริง หน่วย นิวตัน/เมตร

m คือ น้ำหนักของมวล m หน่วย กิโลกรัม

จากสมการดังกล่าวจะแสดงให้เห็นว่า

เมื่ออัตราเร่งของวัตถุมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ระยะขจัดของมวล m มีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เมื่ออัตราเร่งของวัตถุม่ค่าลดลง ทำให้มวล m เคลื่อนที่ไปดันสปริง เมื่ออัตราเร่งของวัตถุหยุดลง ก็จะทำให้มวล m เคลื่อนที่กลับมาอยู่ตำแหน่งเดิม (ตำแหน่งอ้างอิง)

แต่ในทางปฏิบัติเราสามารถวัดระยะขจัดของมวล m ได้โดยอาศัยมิเตอร์อีกชนิดหนึ่ง คือมิเตอร์วัดระยะขจัดเชิงเส้น (LVDT, potentiometer)

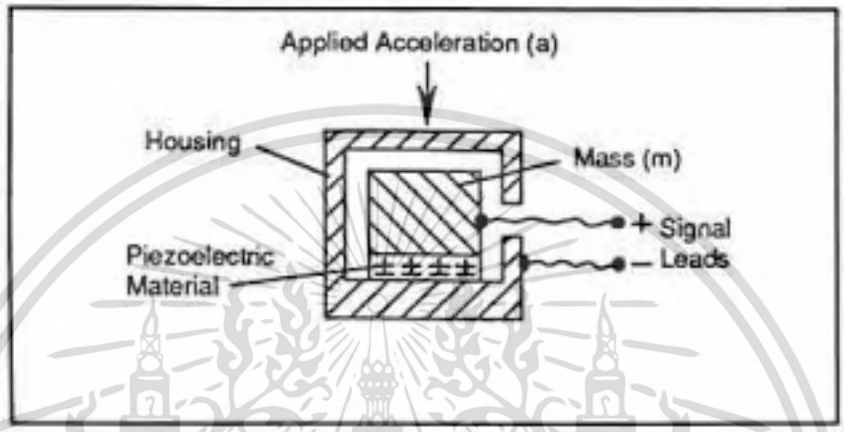
ส่วนการวิเคราะห์หาค่าอัตราเร่งที่เกิดขึ้นเราสามารถคำนวณหาได้โดยใช้คอมพิวเตอร์

มิเตอร์วัดอัตราเร่งแบบไซซมิกแมสนี้จะนิยมใช้ในการตรวจวัดลักษณะการช็อกและลักษณะการสั่นสะเทือนที่มีความถี่ต่ำมากๆ เช่น ในเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหว หรือในเครื่องมือตรวจวัดการปะทุใต้ดินของภูเขาไฟ ฯลฯ

2. มิเตอร์วัดอัตราเร่งแบบเพียโซอิเล็กทริก (piezoelectric accelerometer) คุณสมบัติพื้นฐานทางไฟฟ้าของผลึกเพียโซอิเล็กทริก (piezoelectric crystal) มีคุณสมบัติพิเศษ คือ เมื่อมันถูกแรงทางกลมากระทำ มันจะสร้างประจุไฟฟ้าขึ้นมา โดยเป็นสัดส่วนกับแรงกระทำนั้น ซึ่งจากคุณสมบัติพิเศษนี้ได้ถูกดัดแปลงนำไปใช้สร้างอุปกรณ์ต่างๆมากมาย เช่น ใช้เป็นแบตเตอรี่จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับนาฬิกาข้อมือดิจิตอลที่เราใช้ทั่วไป และยังใช้สร้างมิเตอร์วัดอัตราเร่งแบบเพียโซอิเล็กทริกอีกด้วย โครงสร้างของมอเตอร์วัดอัตราเร่งแบบเพียโซอิเล็กทริกจะประกอบด้วย seismic mass ยึดติด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับ piezoelectric crystal และบรรจุอยู่ในตัวถังป้องกัน โดย piezoelectric crystal ที่นิยมนำมาใช้งาน ได้แก่ ผลึกควอตซ์ และผลึกโซเดียมโปตัสเซียมตาเตรต (sodium potassium tartrate) เพราะมีความทนทานต่อแรงกระทำ และราคาไม่แพงมากนัก



รูปที่ 2.13 piezoelectric accelerometer

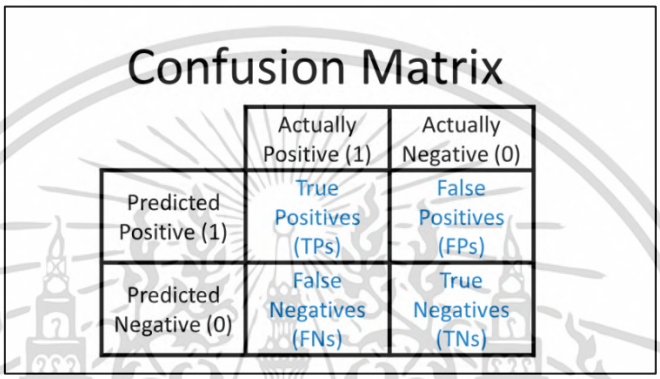
เมื่อ seismic mass (m) ถูกทำให้เกิดอัตราเร่งขึ้น (ถูกกด) มันจะส่งผ่านแรงกดไปกระทำกับ piezoelectric crystal ที่ถูกยึดติดอยู่ด้วยกัน ด้วยคุณสมบัติพิเศษของมันจะทำให้ประจุไฟฟ้าถูกสร้างขึ้น และถูกสายนำสัญญาณออกไปยังเอาต์พุตของวงจร โดยที่ด้านเอาต์พุตจะต้องมีวงจรขยายประจุไฟฟ้า (charge amplifier) เพื่อขยายค่าประจุไฟฟ้าที่ได้ให้เป็นแรงดันเอาต์พุตตามสัดส่วนของอัตราเร่งที่เกิด จะได้สามารถแสดงผลได้ด้วยโวลต์มิเตอร์

มิเตอร์วัดอัตราเร่งแบบเพียโซอิเล็กทริกตอบสนองต่อทางด้านความถี่สูงได้ดี แต่ในทางกลับกันก็จะมีผลตอบสนองทางด้านความถี่ต่ำที่ไม่ดีนัก มีขนาดค่อนข้างเล็ก น้ำหนักเบา และสามารถใช้งานที่มีอัตราเร่งได้สูงถึง 250,000 m/s^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 Confusion Matrix

Confusion Matrix ถือเป็นเครื่องมือสำคัญในการประเมินผลลัพธ์ของการทำนาย หรือ Prediction ที่ทำนายจากModelที่เราสร้างขึ้น ในMachine learning โดยมีไอเดียจากการวัดว่า สิ่งที่เราคิด (Model ทำนาย) กับ สิ่งที่เกิดขึ้นจริง มีสัดส่วนเป็นอย่างไร



รูปที่ 2.14 Confusion Matrix

True Positive (TP)= สิ่งที่ทำนาย ตรงกับสิ่งที่เกิดขึ้นจริง ในกรณี ทำนายว่าจริง และสิ่งที่เกิดขึ้น ก็คือ จริงTrue Negative (TN)= สิ่งที่ทำนายตรงกับสิ่งที่เกิดขึ้น ในกรณี ทำนายว่า ไม่จริง และสิ่งที่เกิดขึ้น ก็คือ ไม่จริงFalse Positive (FP)= สิ่งที่ทำนายไม่ตรงกับสิ่งที่เกิดขึ้น คือทำนายว่าจริง แต่สิ่งที่เกิดขึ้น คือ ไม่จริงFalse Negative (FN)= สิ่งที่ทำนายไม่ตรงกับที่เกิดขึ้นจริง คือทำนายว่าไม่จริง แต่สิ่งที่เกิดขึ้น คือ จริง

โดย TP,TN,FP,FN ในตารางจะแทนด้วยค่าความถี่ สามารถใช้ Confusion Matrix มาคำนวณการประเมินประสิทธิภาพของการทำนายด้วย Model ของเรา ในรูปแบบค่าต่าง ๆได้หลายค่า

2.8.1 Accuracy

Accuracy (ความถูกต้อง) = (TPs + TNs) / (TPs+TNs+FPs + FNs) หรือกล่าวได้ว่า Accuracy = ผลรวมของตัวเลขบนเส้นทแยงมุมในตารางConfusion Matrix / จำนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

observationsทั้งหมด โดย ความเป็นจริงแล้ว Confusion matrix ไม่จำเป็นต้องเป็นแบบ 2x2 หรือมีผลลัพธ์แค่ 2 แบบ เสมอไป โดยอาจเป็น 3x3,4x4, nxn ก็ได้ โดยวิธีการหา Accuracy ก็ใช้แบบเดิม คือ ผลรวมของตัวเลขบนเส้นทแยงมุมในตาราง Confusion Matrix หารจำนวนobservationsทั้งหมด

2.8.2 Precision

เป็นการเปรียบเทียบ การทำนายที่ถูกต้องว่า จริง และก็เกิดขึ้นจริง (TP) กับ การทำนายว่า จริง แต่สิ่งที่เกิดขึ้น คือ ไม่จริง (FP) โดย Precision = TPs / (TPs + FPs)

2.8.3 Recall

ความถูกต้องของการทำนายว่าจะเป็น “จริง” เทียบกับ จำนวนครั้งของเหตุการณ์ทั้งทำนาย และ เกิดขึ้น ว่า “เป็นจริง”) โดย Recall = TPs/(TPs+FNs)

2.8.4 F1 score

F1-Score เป็นค่าเฉลี่ยแบบ harmonic mean ระหว่าง precision และ recall จุดประสงค์ของการสร้าง F1 ขึ้นมา คือ เพื่อเป็น single metric ที่วัดความสามารถของโมเดล โดย F1 = 2 x (Precision x Recall)/(Precision + Recall)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
หลักการทำงานและการออกแบบ

3.1 หลักการทำงาน

การทำงานของอุปกรณ์ควบคุมแบบไร้สายโดยใช้โครงสร้างการเรียนรู้เชิงลึกแบบมีลำดับทำงานโดยอาศัยในการรับค่าความเร่งจาก Accelometer ในทั้งแนวแกน x,y,z ที่มีความยาวจำกัดไม่เกิน 128 คู่อันดับ การจดจำลักษณะท่าทางผ่านระบบการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning Model) ผ่านการ train และ test แล้วนำโมเดลที่ผ่านการเรียนรู้แล้วไปฝังลงใน M5STACK FIRE controller มาทำการจดจำลักษณะการโบกเพื่อใช้เป็นคำสั่งในการควบคุมอุปกรณ์โดยสั่งงานผ่านระบบโครงข่ายไร้สาย ไปที่ตัว controller ภาคเอาท์พุตและสั่งงานรีเลย์ขนาด 8 channel ในการเปิด-ปิด อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ

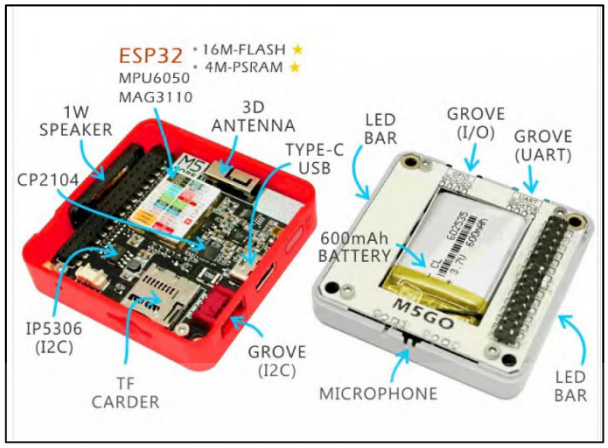
3.2 การเลือกอุปกรณ์

ในการสร้างอุปกรณ์ควบคุมแบบไร้สายต้องประกอบไปด้วยอุปกรณ์ที่ใช้ประมวลผลและส่งข้อมูลซึ่งในการประมวลผลจะเลือกใช้ M5STACK FIRE และเลือกใช้ NodeMCU 32 ในการรับข้อมูลและส่งคำสั่งไปยังชุด Relay module เพื่อควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้า

3.2.1 Controller

Controller ที่เลือกใช้คือ M5STACK FIRE ภายในมี ESP32 เป็น คอนโทรลเลอร์ 32 bit มีความเร็ว clock 160MHz ซึ่งสามารถประมวลผล CNN Model ได้ โดยภายในประกอบด้วย Accelometer ที่สามารถจับลำดับของสัญญาณได้ และมีอุปกรณ์สนับสนุนมากมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 M5STACK FIRE

3.2.2 Relay Module

จำนวน Relay ถูกเลือกให้สามารถควบคุมได้ 4 channel แต่ละอันเอาไปควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีใช้ในบ้านเพื่อสาธิตการใช้งานอย่างง่าย เช่น พัดลม หลอดไฟ โดยกำหนดให้แต่ละโหลดทำงานที่แรงดัน 220 VAC กระแสใช้งานไม่เกิน 10 แอมป์ โดยฝั่งควบคุมที่ถูกสั่งมาจาก controller ขดลวดของรีเลย์ ถูกเลือกตัวที่สามารถทำงานที่แรงดัน 5 โวลต์ การสั่งงานของรีเลย์จะทำงานแบบ Active Low โดยสั่งงานผ่าน esp32 ที่เชื่อมต่อเครือข่ายไร้สายเดียวกัน

รูปที่ 3.2 relay module (250V/10A) 8 Channel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ESP32

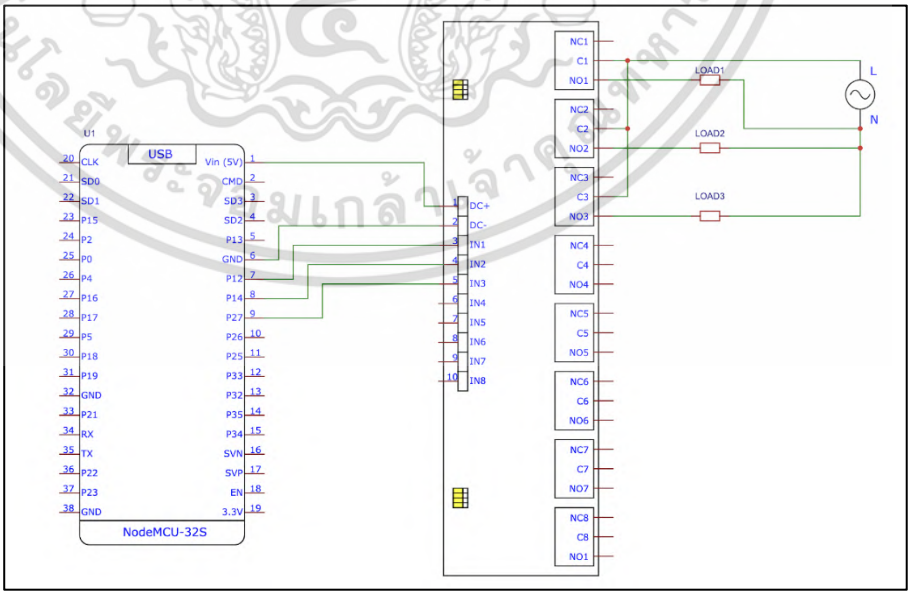
ESP32 ถูกนำมาใช้ในการสื่อสารระหว่างภาคเปิด-ปิดฝั่งเอาท์พุตและฝั่งประมวลผลสัญญาณ โดยในตัว ESP32 สามารถสื่อสารไร้สายและประมวลผลโดยสามารถฝังลงไปในอุปกรณ์อื่นได้ เนื่องจากมีขนาดเล็กแล้วมีความสารถในการคำนวณสูง โดยในที่นี้อยู่ในตัว M5 stack ซึ่งมีหน้าที่หลักในการรับค่าและประมวลผลคลาสออกมา แล้วทำการสั่งไป ESP32 ภาคเอาท์พุต

3.3 การออกแบบและสร้างเครื่องมือ

การออกแบบจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การออกแบบด้านฮาร์ดแวร์และการออกแบบด้านซอร์ฟแวร์ โดยเลือกใช้โปรแกรม Easy EDA ในการออกแบบ ฮาร์ดแวร์ และเลือกใช้โปรแกรม Arduino IDE และ GoogleColaboratory ในการออกแบบซอร์ฟแวร์

3.3.1 การออกแบบด้านฮาร์ดแวร์

ออกแบบวงจรที่ใช้งานโดย ใช้โปรแกรม Easy EDA เป็นส่วนวิธีการเชื่อมต่อ controller กับ relay module และไฟบ้าน 220 VAC

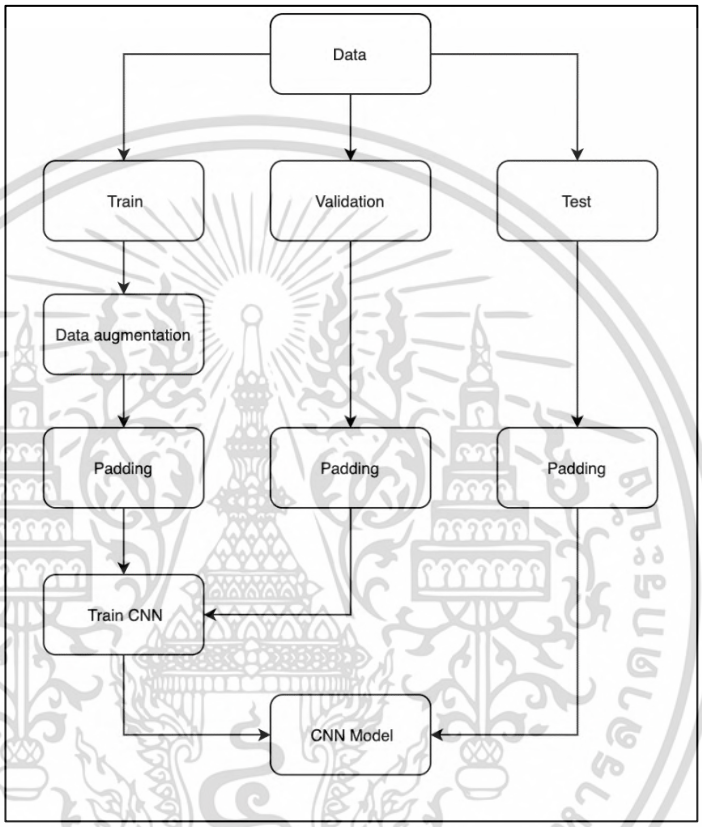


รูปที่ 3.3 วงจรที่ต่อระหว่าง Esp32 และ relay module

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การออกแบบด้านซอร์ฟแวร์

จาก block diagram จะทำการเก็บข้อมูลของแต่ละรูปแบบการเคลื่อนที่ด้วย M5STACK FIRE จากนั้นนำข้อมูลมาแบ่งเป็น train set ,test set และ Validation เพื่อใช้ในการสร้างโมเดล



รูปที่ 3.4 CNN Block diagram

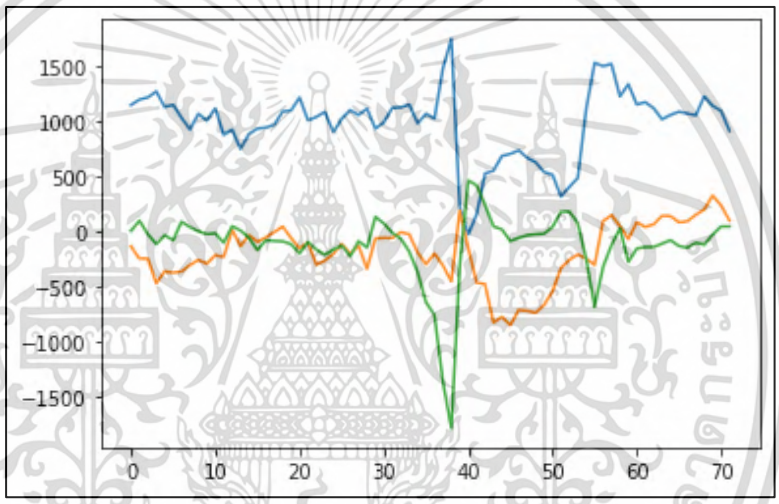
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.1 การเก็บข้อมูล

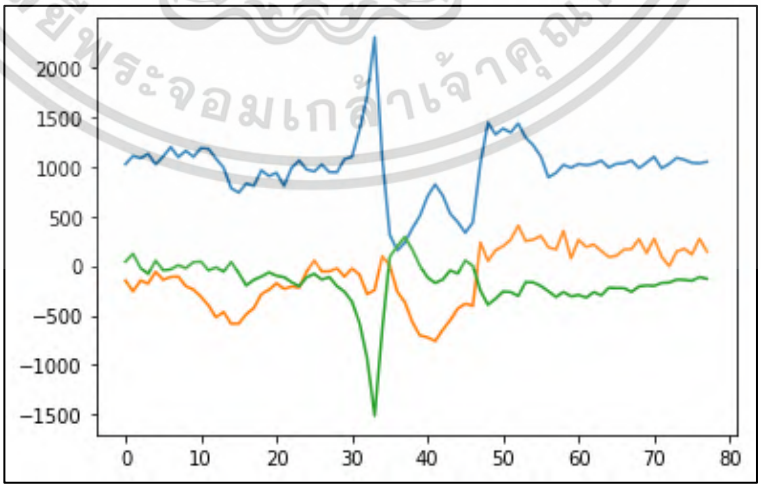
1. Class 1 ลักษณะการเคลื่อนที่รูปเลข 1

รูปที่ 3.5 ลักษณะการเคลื่อนที่เลข 1 (Class 1)

โดยให้ลักษณะของสัญญาณ(ลำดับของความเร่ง) เป็นดังนี้



รูปที่ 3.6 สัญญาณรูปเลข 1 น้ำเงิน(แกน x) แดง(แกน y) เขียว(แกน z) ตัวอย่างที่ 1



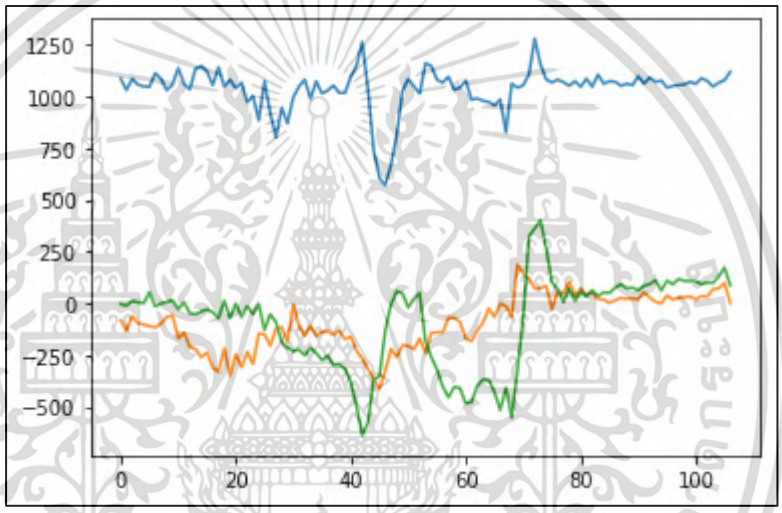
รูปที่ 3.7 สัญญาณรูปเลข 1 น้ำเงิน(แกน x) แดง(แกน y) เขียว(แกน z) ตัวอย่างที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

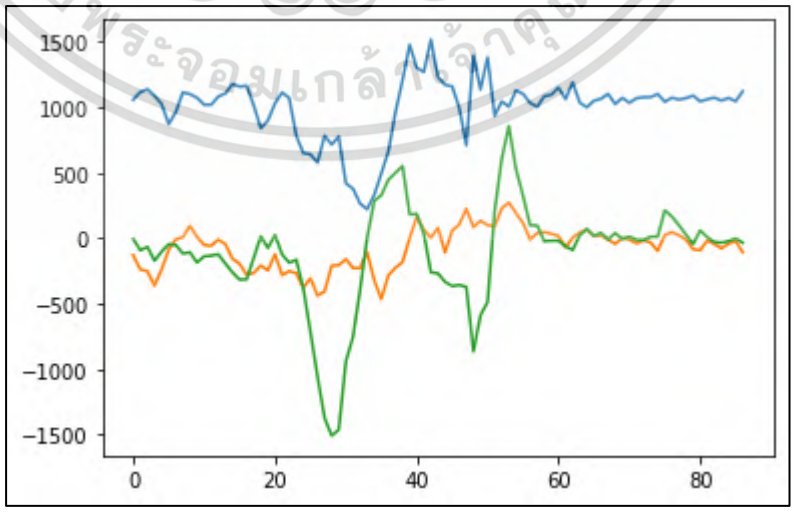
2. Class 2 ลักษณะการเคลื่อนที่รูปเลข 2

รูปที่ 3.8 ลักษณะการเคลื่อนที่เลข 2 (Class 2)

โดยให้ลักษณะของสัญญาณ(ลำดับของความเร่ง)เป็นดังนี้



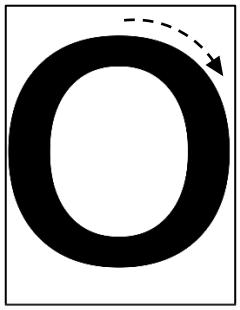
รูปที่ 3.9 สัญญาณรูปเลข 2 น้ำเงิน(แกน x) แดง(แกน y) เขียว(แกน z) ตัวอย่างที่ 1



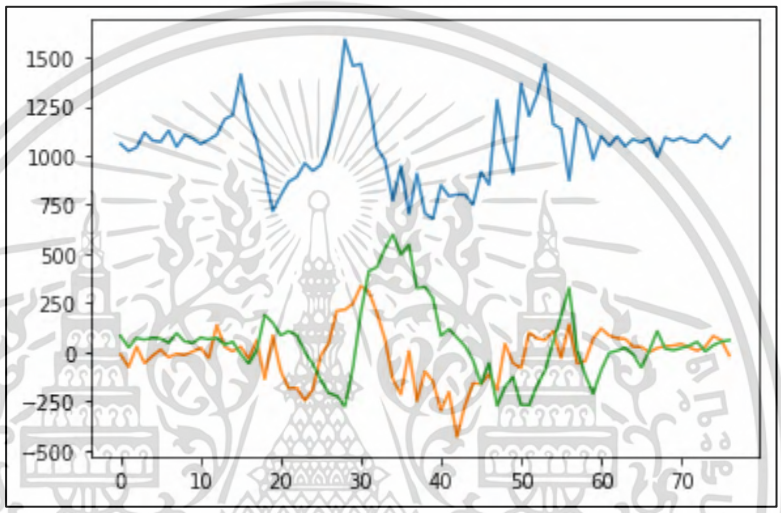
รูปที่ 3.10 สัญญาณรูปเลข 2 น้ำเงิน(แกน x) แดง(แกน y) เขียว(แกน z) ตัวอย่างที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

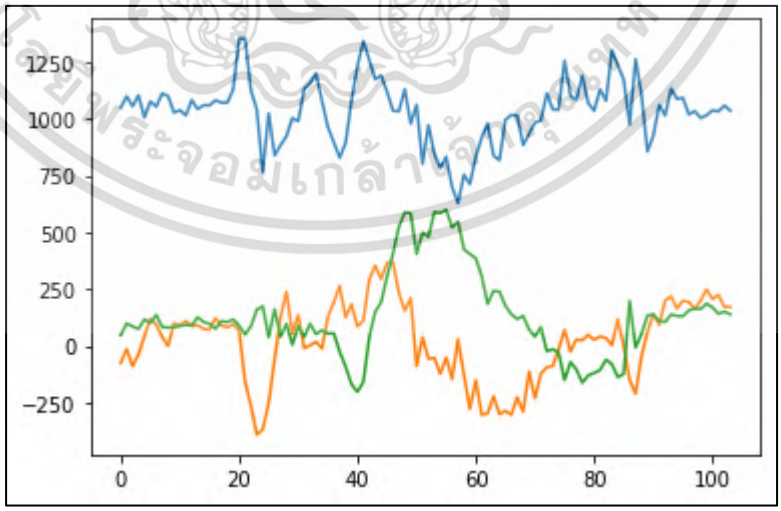
3. Class circle ลักษณะการเคลื่อนที่รูปวงกลม



รูปที่ 3.11 ลักษณะการเคลื่อนที่รูปวงกลม (Class circle)



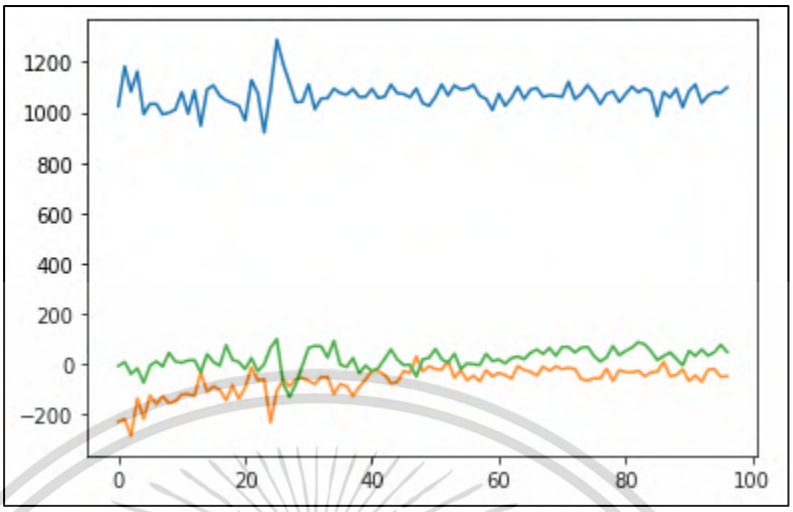
รูปที่ 3.12 สัญญาณรูปวงกลม น้ำเงิน(แกน x) แดง(แกน y) เขียว(แกน z) ตัวอย่างที่ 1



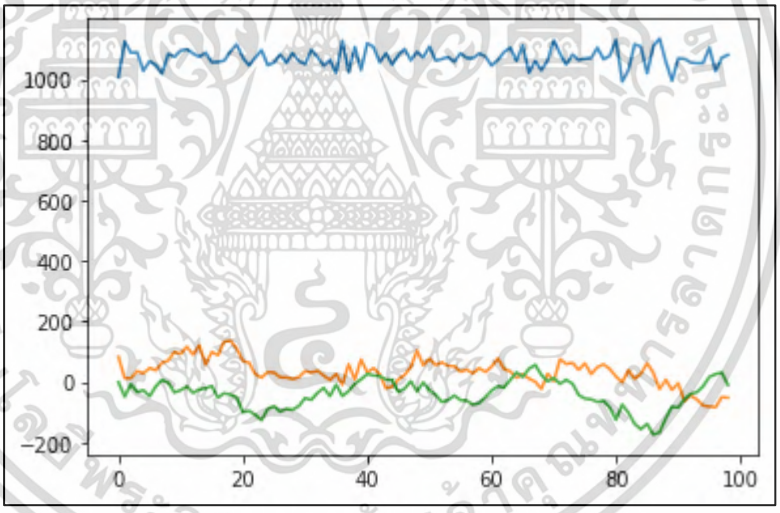
รูปที่ 3.13 สัญญาณรูปวงกลม น้ำเงิน(แกน x) แดง(แกน y) เขียว(แกน z) ตัวอย่างที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Class stay ลักษณะไม่มีการเคลื่อนที่



รูปที่ 3.14 สัญญาณไม่มีการเคลื่อนที่ น้ำเงิน(แกน x) แดง(แกน y) เขียว(แกน z) ตัวอย่างที่ 1



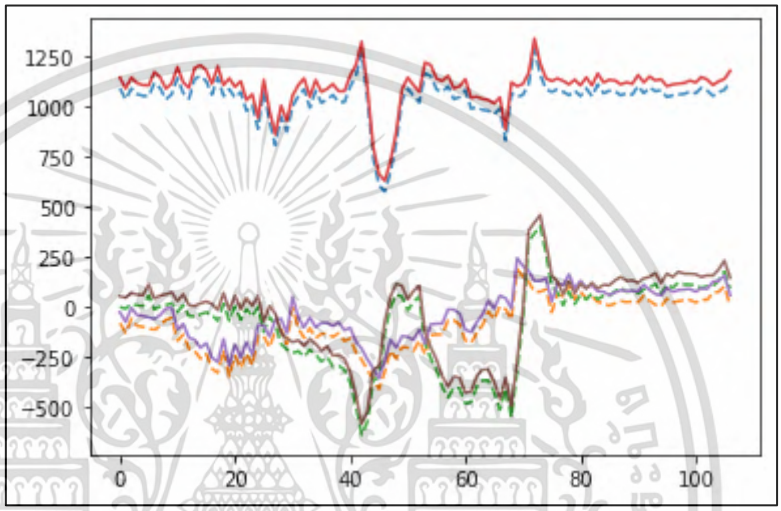
รูปที่ 3.15 สัญญาณไม่มีการเคลื่อนที่ น้ำเงิน(แกน x) แดง(แกน y) เขียว(แกน z) ตัวอย่างที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.2 Augmentation

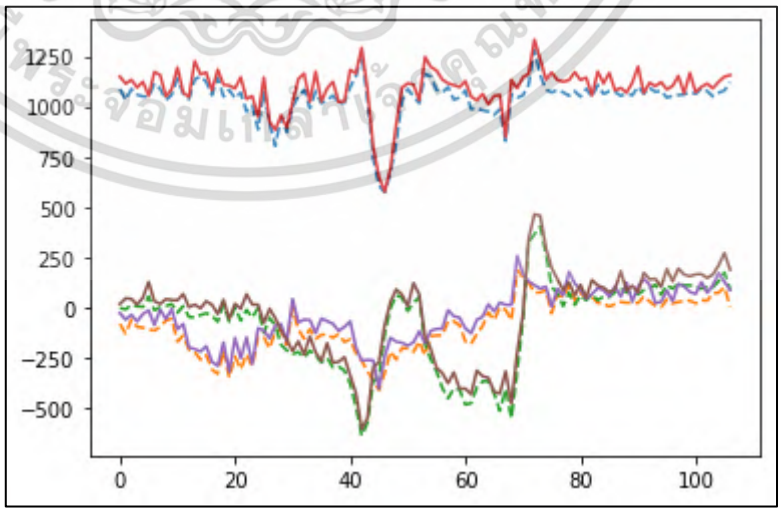
เป็นกระบวนการที่ทำให้มูลเพิ่มขึ้น เนื่องจากการ train data ต้องใช้ข้อมูลเป็นจำนวนมาก มีวิธีดังต่อไปนี้

1. Sequence shift เป็นการเลื่อน off set ของกราฟทางแกน y ด้วยขนาดที่เท่ากัน



รูปที่ 3.16 Augmentation (Sequence shift)

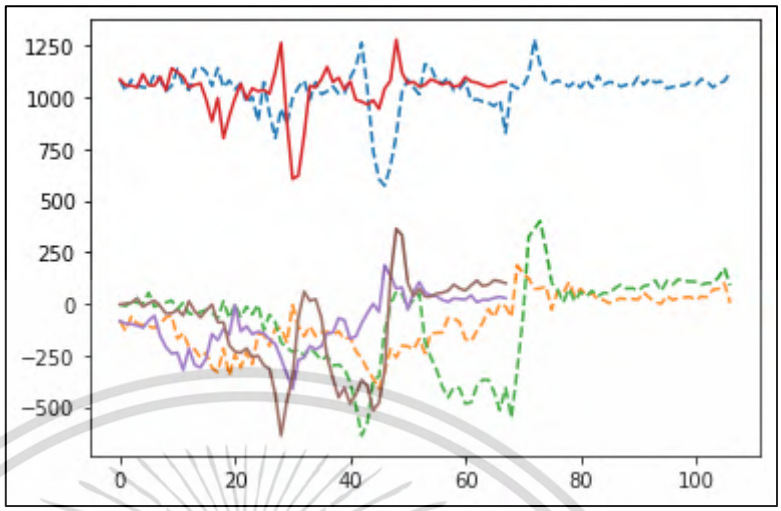
2. Random noise เพิ่มลดค่าในแกน y ด้วยค่ามี่สุ่มโดยไม่จำเป็นต้องมีขนาดเท่ากัน



รูปที่ 3.17 Augmentation (Random noise)

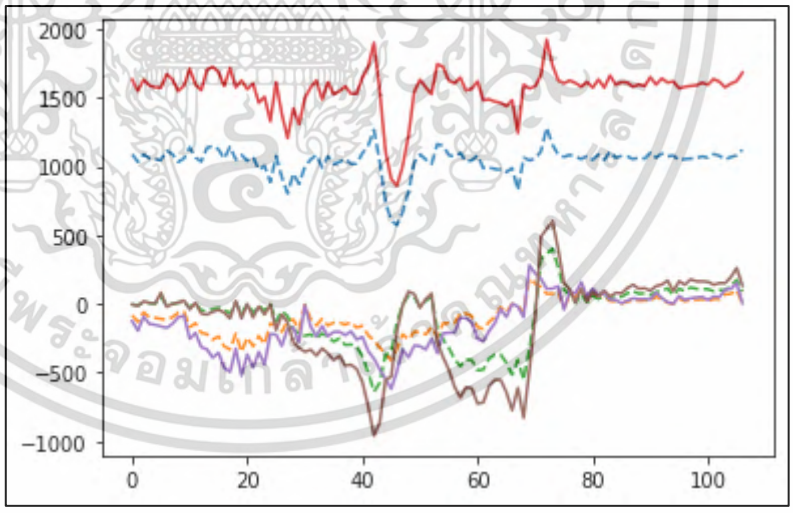
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Time warping เป็นการหดสัญญาณตามแกนเวลา



รูปที่ 3.18 Augmentation (Time warping)

4. Movement amplification เป็นการนำลำดับสัญญาณทั้งหมดมาคูณด้วย ค่ากำลังขยาย หรือ ลดท่อนค่าหนึ่ง



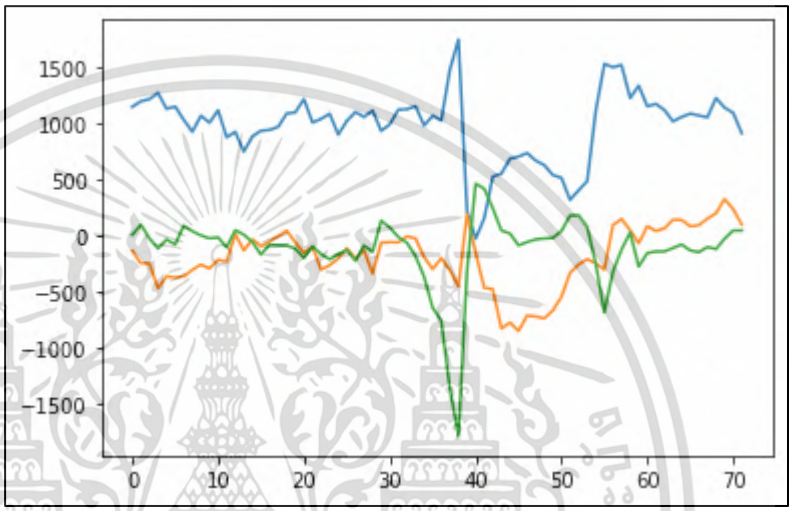
รูปที่ 3.19 Augmentation (Movement amplification)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.3 Padding

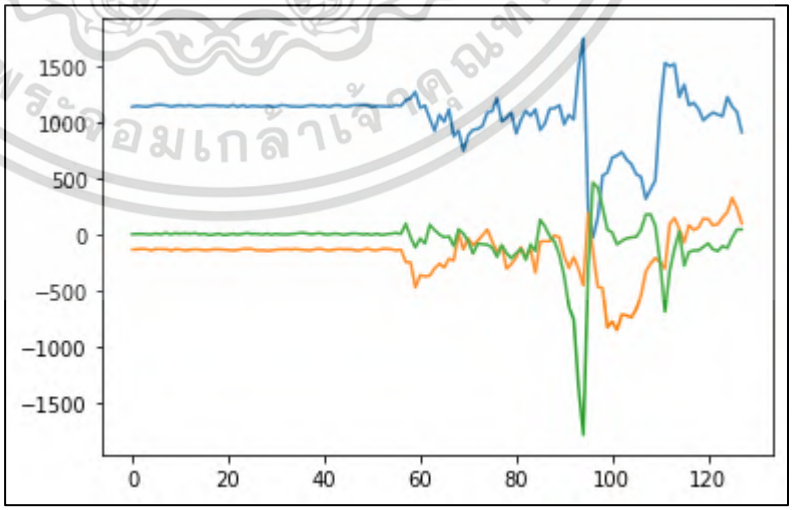
เนื่องจากเมื่อทำการ Sample data แล้วค่า n Sample ที่เข้ามาในแต่ละสัญญาณจะมีขนาดไม่เท่ากัน จึงต้องทำการ padding ซึ่งเป็นปรับให้ข้อมูลมีจำนวน n เท่ากันคือ 128

1. สัญญาณก่อนการทำ Padding



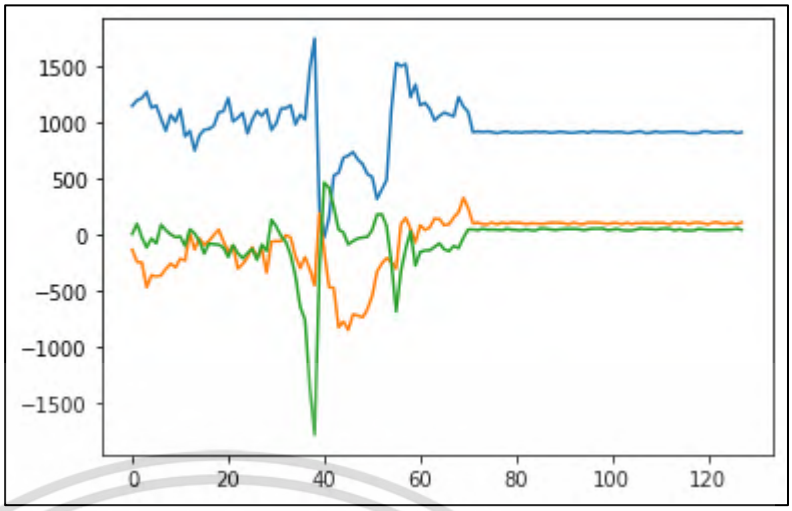
รูปที่ 3.20 สัญญาณก่อนการทำ Padding

2. สัญญาณหลังการทำ Padding



รูปที่ 3.21 สัญญาณหลังการทำ Padding ด้านซ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 สัญญาณหลังการทำ Padding ด้านขวา

ประโยชน์นอกเหนือจากมี n = 128 คือ เราสามารถเพิ่ม Data เป็น 2 เท่าได้ โดย Data ที่ผ่านกระบวนการดังกล่าวจะถูกนำมาฝึกสอน CNN model ดังบล็อกไดอะแกรมที่ได้กล่าวไป ทำการทดสอบคุณภาพโมเดล ซึ่งจะกล่าวในบทต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

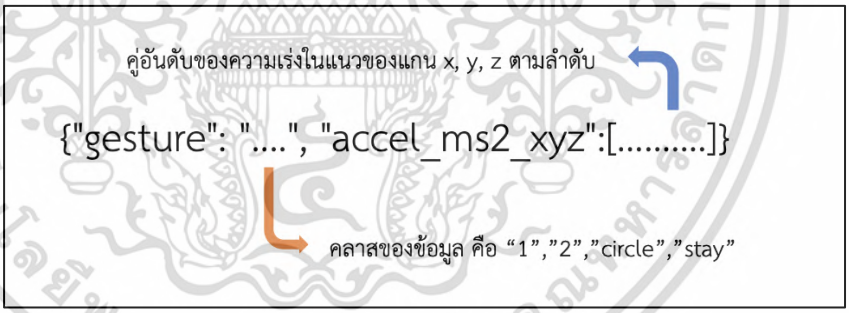
การทดลองและผลการทดลอง

4.1 วิธีการทดลอง

ในการสร้างโมเดลสำหรับการใช้งานจดจำท่าทาง โดยคอนโทรลเลอร์ที่ติดอยู่ที่บริเวณข้อมือจะทำการเก็บค่าสัญญาณ accelerometer ในแกน x,y,z และประมวลผลผ่านโมเดลที่ถูกเทรนมาแล้วโดยจะถูกวัดค่าออกผ่านค่าความแม่นยำของโมเดล (Accuracy) โดยทำการวัดระหว่างช่วยที่เทรนโมเดล

4.1.1 เก็บข้อมูล

การเก็บข้อมูลโดยทำการนำโค้ดที่เก็บค่าแบบ json file (JavaScript Object Notation) ประกอบไปด้วย



รูปที่ 4.1 โครงสร้างของข้อมูลที่ต้องจัดเตรียมสำหรับสอนโมเดล (training)

1. ท่าทางของข้อมูล (gesture) มีทั้งหมด 4 ชนิด คือ คลาส “1”,คลาส “2” ,คลาส “circle” และ คลาส “stay” โดยแต่ละคลาสจะมีความสัมพันธ์กับท่าทางที่นำมาสอนโมเดล โดยคลาส stay จะถูกใช้เมื่อไม่มีคำสั่งใดๆ ที่เข้ากับคลาสอื่น โดยจะไม่มีการสั่งงานไปยังคอนโทรลเลอร์ให้เปิด-ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า

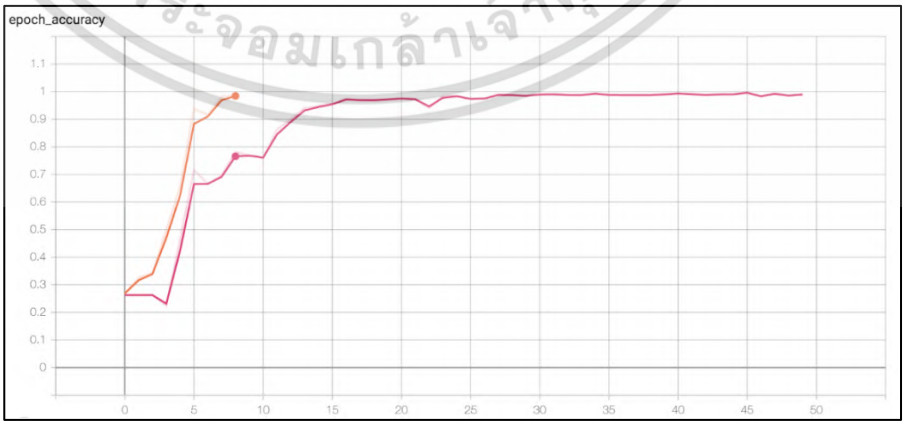
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ความเร่งของทุกแกน (accel_ms2_xyz) คือหลังจากการประกาศค่าตัว คอมพิวเตอร์จะอ่านค่าคู่อันดับหลังจาก “accel_ms2_xyz” เป็นความเร่งของแต่ละแกนซึ่งมีความยาวไม่เกิน 128 คู่อันดับ

4.1.2 เทรนโมเดล

นำข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนที่ 4.1.1 ไปทำการแบ่งออกเป็นสองส่วนของข้อมูล ประกอบไปด้วยส่วนที่ใช้สำหรับการสอนโมเดล และส่วนที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของโมเดล เป็นอัตราส่วน 80% และ 20% ตามลำดับ

รูปที่ 4.2 ภาพขณะเทรนโมเดล nearol network



รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบกันระหว่างข้อมูลที่ถูกแบ่งออกเป็นชุดเพื่อนำไปเทรนในแต่ละรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพมีแกนตั้งคือ ความแม่นยำของโมเดล แกนนอนคือ จำนวนครั้งที่เทรน (step) จากข้อมูลเห็นได้ว่าข้อมูลที่นำมาเสดงผลมีค่า step ที่แตกต่างกันในการลู่เข้าค่าความแม่นยำ การใช้เทคนิคการแบ่งข้อมูลเป็นหลายชุดแล้วนำมาสอนโมเดลจะเพิ่มทั้งในแง่ของความเร็วที่จะลู่เข้า และค่าความแม่นยำของโมเดล (Accuracy)

4.1.3 หาค่าของ Accuracy ผ่าน confusion matrix

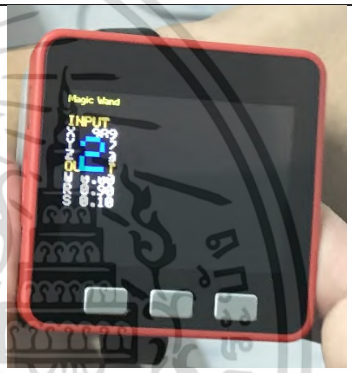
การทำนายของโมเดลจะใช้เป็นระบบแบบจำแนกชนิดของข้อมูล (Classification Model) แล้วจึงนำมาหาค่าความแม่นยำ โดยอยู่ในรูปของการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ทำนายจริง (Train model) และค่าที่นำมาทดสอบโมเดล (Test Model) หากสรุปค่าเปรียบเทียบจะได้เป็นดังตาราง

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลอง

ผลการทำนายจากโมเดล / ค่าจริง	Class 1	Class 2	Class circle	Class stay
Class 1	31	1	1	17
Class 2	5	40	4	1
Class circle	29	9	4	8
Class stay	0	3	1	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 การแสดงผลของคลาสต่าง ๆ

การแสดงผลของคลาสต่าง ๆ	
Class 1	
Class 2	
Class circle	
Class stay	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อทำการทดสอบโมเดลที่ใช้ทำนายท่าทางโดยประกอบไปด้วย 4 class คือ one, two, circle และ stay โดยตัวคอนโทรลเลอร์หลักที่ทำการรับค่า accelerometer แล้วจึงนำมาคำนวณหาคลาส โดยในขั้นตอนแรกจะต้องทำการเก็บข้อมูลที่ประกอบไปด้วยลำดับของ accelerometer แล้วจึงนำมา label ว่าที่เคลื่อนไหวไปนั้นตรงกับคลาสใด หลังจากนั้นนำชุดข้อมูลที่ได้ทำการรวบรวมในรูปแบบของJSON แล้วทำการอัพโหลดไปทำการฝึกสอนโมเดลบน GoogleColaboratory หลังจากได้โมเดลที่ได้ทำการสอนแล้วจำนำมาทำการ optimize ให้มีความเหมาะสมกับคอนโทรลเลอร์(M5 stackFire)ที่นำมาใช้แล้วทำการแปลงลงเป็นภาษาซี แล้วฝังลงบนคอนโทรลเลอร์ โดยคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ทำนายค่าคลาสนั้นจะถูกเชื่อมต่อเข้ากับโครงข่ายไร้สายเพื่อสั่งการอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ได้ทำการติดตั้งไว้ โดยจากการทดลองพบว่าโมเดล มีค่า accuracy คือ 63 %

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

5.2.1.จากการทดลองพบว่า Class 2 (circle) เป็น Class ที่ model ให้คำตอบผิดมาก โดยทำนายเป็น Class 1 คือ 29 Class 2 คือ 9 Class 3 คือ 4 Class 4 คือ 8 โดยคาดว่า การวาด Class2 (circle) รูปวงกลมมีความใกล้เคียงกับรูป Class 0 (1)

5.2.2. จากการทดลองพบว่า มี ความแม่นยำ(Accuracy) = 0.63 หากอยากได้อาจออกแบบท่าให้ซับซ้อน ดังเช่น Class 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 จากข้อ 5.2.2 การออกแบบค่าที่ซับซ้อนขึ้นเช่น ท่า W ท่าตัว Z เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1.] Biomedical Engineering. 2554. Accelerometer. สืบค้นเมื่อ 8 พฤษภาคม 2564 จาก https://bme231metrology.blogspot.com/2011/07/accelerometer

[2.] มาโนช ด่านพนัง. 2559. วงจรไฟฟ้าภายในบ้าน. สืบค้นเมื่อ 8 พฤษภาคม 2564 จาก https://sites.google.com/a/samakkhi.ac.th/krumanoch/

[3.] รีเลย์ (Relay) คืออะไร?. 2557. รีเลย์ (Relay) คืออะไร?. สืบค้นเมื่อ 8 พฤษภาคม 2564 จาก http://www.psptech.co.th

[4.] เอนก เป็งสว่าง. 2564. microcontrollers 8 bit 32 bit มันต่างกันอย่างไร. สืบค้นเมื่อ 2 กุมภาพันธ์ 2564 จาก https://lab.ecu-shop.com/microcontrollers-8-bit-32-bit

[5.] M5STACK FIRE. มปป. M5STACK FIRE. สืบค้นเมื่อ 8 พฤษภาคม 2564 จาก https://inex.co.th/home/product/m5stack-fire/

[6.] กรัณวิณัฐ วงษ์ไชยมูล. มปป. บอร์ด Arduino คืออะไร. สืบค้นเมื่อ 8 พฤษภาคม 2564 จาก https://sites.google.com/site/Karanwinatktech/unit1/

[7.] KASIDIS SATANGMONGKOL. 2562. Confusion Matrix. สืบค้นเมื่อ 8 พฤษภาคม 2564 จาก https://datarockie.com/2019/03/30/top-ten-machine-learning-metrics/

[8.] David, Robert, et al. "Tensorflow lite micro: Embedded machine learning on tinyml systems." arXiv preprint arXiv:2010.08678 (2020).

[9.] Warden, Pete, and Daniel Situnayake. Tinyml: Machine learning with tensorflow lite on arduino and ultra-low-power microcontrollers. " O'Reilly Media, Inc.", 2019.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้