

การวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของมนุษย์ด้วย การเรียนรู้ของเครื่องบนอุปกรณ์ ประมวลผลข้อมูล

Human movement analysis using machine
learning on edge device

นายธีรวัฒน์ เลิศอัมพรวิทย์ เลขประจำตัว 6430183721
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สุริย์ พุ่มรินทร์

บทที่ 1 บทนำ

- ที่มาและความสำคัญของโครงการ
- วัตถุประสงค์ของโครงการ
- ขอบเขตของโครงการ
- ผลลัพธ์ที่คาดหวังจากโครงการ

ที่มาและความสำคัญของโครงการ

- การเคลื่อนไหวสามารถพบได้ในชีวิตประจำวัน เช่น การนั่ง การนอน การเดิน [1]
- การเคลื่อนไหวที่ต้องมีการระมัดระวังเป็นพิเศษ เช่น การล้ม การลื่น [2] ซึ่งปัจจัยเสี่ยงเกิดจากการทรงตัวที่ไม่ดีหรือสูญเสียการทรงตัว [3]
- จึงควรจะมีการแจ้งเตือนเกี่ยวกับการเคลื่อนไหวของมนุษย์ไปยังอุปกรณ์สื่อสารข้อมูล เพื่อให้สามารถช่วยเหลือคนที่เป็นกลุ่มเสี่ยงที่อาจเกิดอันตรายได้

- [1] สถาบันปรับโครงสร้างร่างกาย อริยะ, "อิริยาบถ ยืน เดิน นั่ง นอน", [Online]. Available: <https://www.ariyawellness.com/knowledge/posture/bodily-movement-all/>. [Accessed 5 May 2025]
- [2] สมาคมอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในการทำงาน, "การป้องกันอันตรายจากการ ป้องกันการลื่น สะดุด หรือล้ม", [Online]. Available: <https://www.ohswa.or.th/17835288/hse-morning-talk-by-safety-ihs-buu-ep11>. [Accessed 5 May 2025]
- [3] โรงพยาบาลเฉพาะทางกระดูกและข้อ ข้อดีมีสุข จำกัด, " "การเดินให้ช้าลง" ช่วยป้องกันการหกล้มของผู้สูงอายุ", [Online]. Available: <https://kdmshospital.com/article/walk-slower-better-for-adults/>. [Accessed 5 May 2025]

วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาการทำงานและเก็บค่าการเคลื่อนไหว จากตัวรับรู้ความเร่งและตัวรับรู้ใจ
โรสโคป ในไมโครคอนโทรลเลอร์
2. เพื่อศึกษาและสร้างแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่องบนอุปกรณ์ประมวลผลข้อมูล
โดยใช้โมเดลการวิเคราะห์สเปกตรัมและการจัดประเภท
3. เพื่อจำแนกรูปแบบการเคลื่อนไหวของมนุษย์ จากการวัดค่าโดยใช้ตัวรับรู้ความเร่ง
และตัวรับรู้ใจโรสโคป โดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องบนอุปกรณ์ประมวลผลข้อมูล

ขอบเขตของโครงการ

1. ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Nano 33 BLE Sense และ Arduino Nano 33 IoT สำหรับเก็บข้อมูลการเคลื่อนไหวจากตัวรับรู้ความเร่งและตัวรับรู้ไจโรสโคป
2. ใช้โปรแกรม Edge Impulse สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการเรียนรู้ของเครื่อง โดยใช้แบบจำลองการวิเคราะห์สเปกตรัมและการจัดประเภท
3. จำแนกการเคลื่อนไหวของมนุษย์เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มอยู่นิ่ง (Idle) กลุ่มเคลื่อนไหว (Move) และกลุ่มเสี่ยงอันตราย (Risk)

ผลลัพธ์ที่คาดหวังจากโครงการ

สามารถจำแนกรูปแบบการเคลื่อนไหวของมนุษย์ออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

- กลุ่มอยู่นิ่ง เป็นกลุ่มที่ไม่มีการเคลื่อนไหวของร่างกาย
- กลุ่มเคลื่อนไหว เป็นกลุ่มที่มีการเคลื่อนไหวของร่างกายจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง
- กลุ่มเสี่ยงอันตราย เป็นกลุ่มที่มีการเคลื่อนไหวของร่างกายจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง

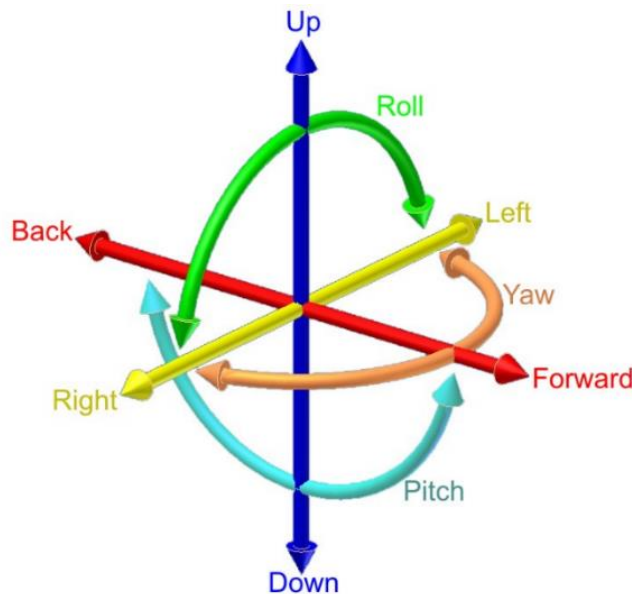
โดยที่ไม่มีความมั่นคงและความสมมาตรของการเดิน ซึ่งเป็นปัจจัยเสี่ยงที่ทำให้เกิดการ
ลื่นล้มได้ [4,5]

- [4] S. Jiang, B. Zhang, and D. Wei, "The Elderly Fall Risk Assessment and Prediction Based on Gait Analysis," in 2011 11th IEEE International Conference on Computer and Information Technology, 2011, pp. 176-179. doi: 10.1109/CIT.2011.82.
- [5] J. Howcroft, J. Kofman, and E. D. Lemaire, "Review of fall risk assessment in geriatric populations using inertial sensors," J. NeuroEng. Rehabil., vol. 10, no. 91, pp. 1-12, Aug. 2013. doi: 10.1186/1743-0003-10-91.

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

- หน่วยวัดแรงเฉื่อย (IMU)
- แพลตฟอร์ม Edge Impulse
- การประเมินแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่อง

หน่วยวัดแรงเฉื่อย (IMU)



ความสัมพันธ์ของแกนที่ได้จากตัวรับรู้ความเร่งและ
ตัวรับรู้ไจโรสโคป [6]

สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Nano 33
BLE Sense และ Arduino Nano 33 IoT

ตัวรับรู้ความเร่ง (a_x, a_y, a_z)
มีช่วงการวัดอยู่ที่ $[-4, +4]g$ (gravity) หรือ
 $[-39.24, +39.24] \text{ m/s}^2$ [7,8]

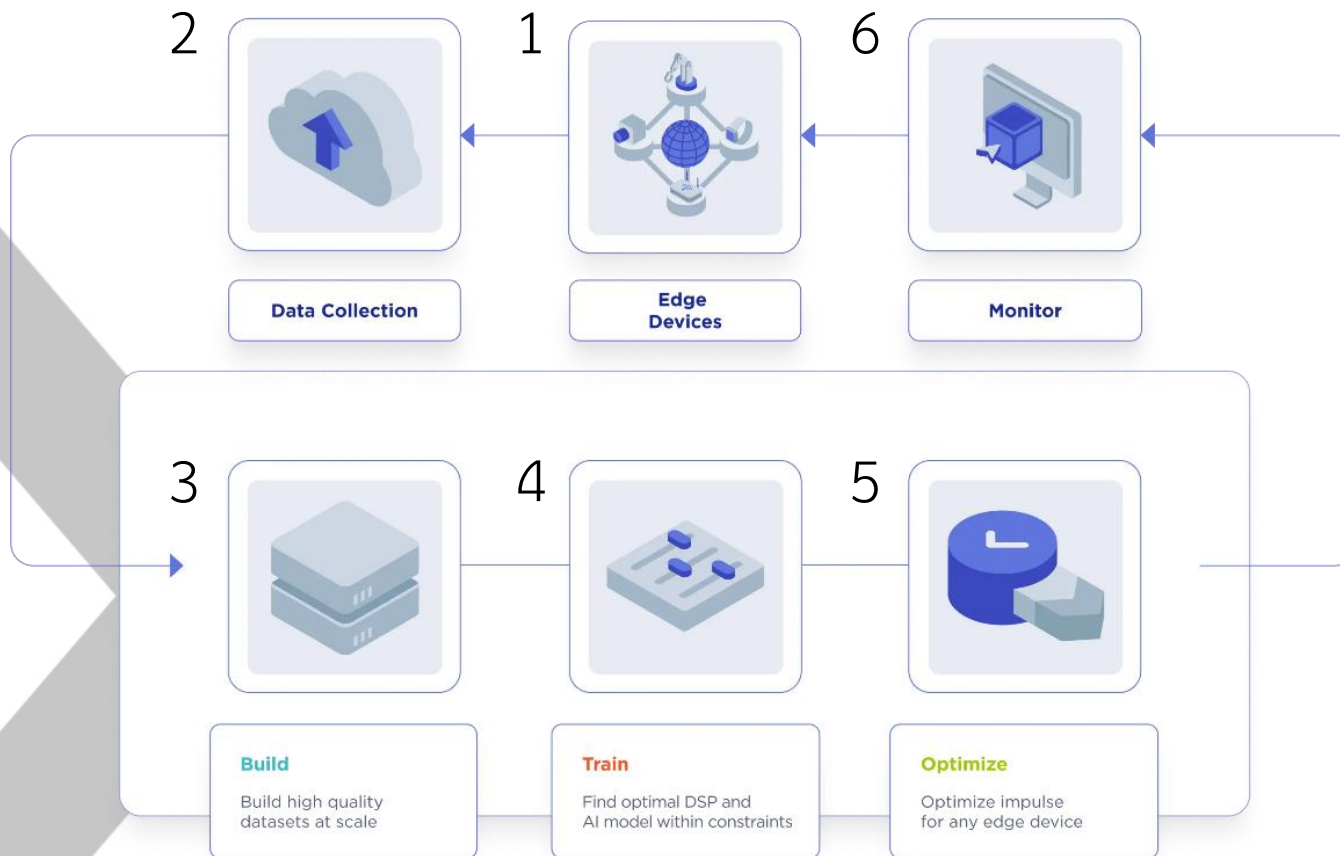
ตัวรับรู้ไจโรสโคป (g_x, g_y, g_z)
มีช่วงการวัดอยู่ที่ $[-2000, +2000] \text{ dps}$
(degree per second) [7,8]

[6] Automatic Addison, "Yaw, Pitch, and Roll Diagrams Using 2D Coordinate Systems", [Online]. Available: <https://automaticaddison.com/yaw-pitch-and-roll-diagrams-using-2d-coordinate-systems/>. [Accessed 5 May 2025]

[7] Arduino, "Nano 33 BLE Sense", [Online]. Available: <https://docs.arduino.cc/hardware/nano-33-ble-sense/>. [Accessed 6 May 2025]

[8] Arduino, "Nano 33 IoT", [Online]. Available: <https://docs.arduino.cc/hardware/nano-33-iot/>. [Accessed 6 May 2025]

แพลตฟอร์ม Edge Impulse



กระบวนการทำงานของแพลตฟอร์ม Edge Impulse [9]

[9] Edge Impulse, " AI สำหรับอุปกรณ์ Edge ทุกชนิด", [Online]. Available: <https://edgeimpulse.com/>. [Accessed 5 May 2025]

การประเมินแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่อง

		Estimate		
		$C_0 \dots C_{k-1}$	C_k	$C_{k+1} \dots C_n$
annotated ground truth	$C_0 \dots C_{k-1}$	TN	FP	TN
	C_k	FN	TP	FN
	$C_0 \dots C_{k-1}$	TN	FP	TN

TN	true negative
TP	true positive
FN	false negative
FP	false positive

$$\text{ค่าความแม่นยำ} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (1)$$

$$\text{ค่าความเที่ยง (Positive)} = \frac{TP}{TP+FP} \quad (2)$$

$$\text{ค่าการเรียกคืน (Positive)} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (3)$$

$$\text{ค่า F1 score} = \frac{2 \times \text{ค่าความเที่ยง} \times \text{ค่าการเรียกคืน}}{\text{ค่าความเที่ยง} + \text{ค่าการเรียกคืน}} \quad (4)$$

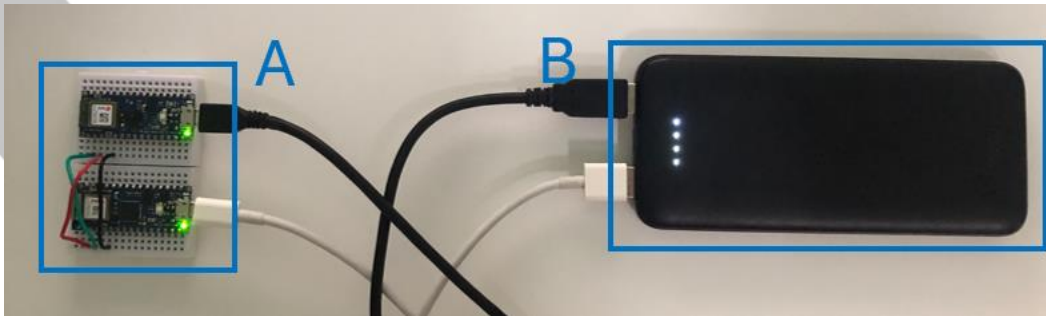
ตาราง Confusion Matrix [10]

[10] Devopedia, "Confusion Matrix." [Online]. Available: <https://devopedia.org/confusion-matrix>. [Accessed 5 May 2025]

บทที่ 3 แนวทางการดำเนินงาน

- การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับรวบรวมข้อมูลการเคลื่อนไหวของมนุษย์
- ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูลการเคลื่อนไหวของมนุษย์
- ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้แพลตฟอร์ม Edge Impulse
- ขั้นตอนการทดสอบข้อมูลการเคลื่อนไหวของมนุษย์

การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับรวบรวมข้อมูลการเคลื่อนไหว ของมนุษย์

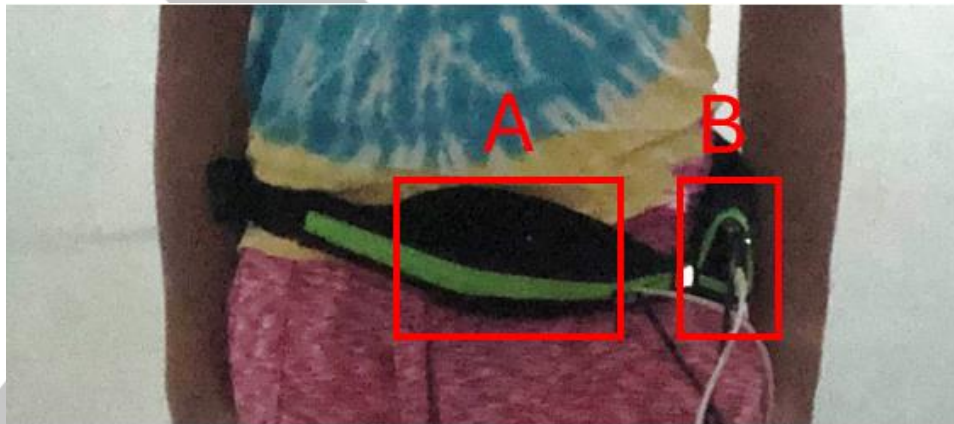


ส่วน A

บน: Arduino Nano 33 BLE Sense

ล่าง: Arduino Nano 33 IoT

ส่วน B: Power Bank



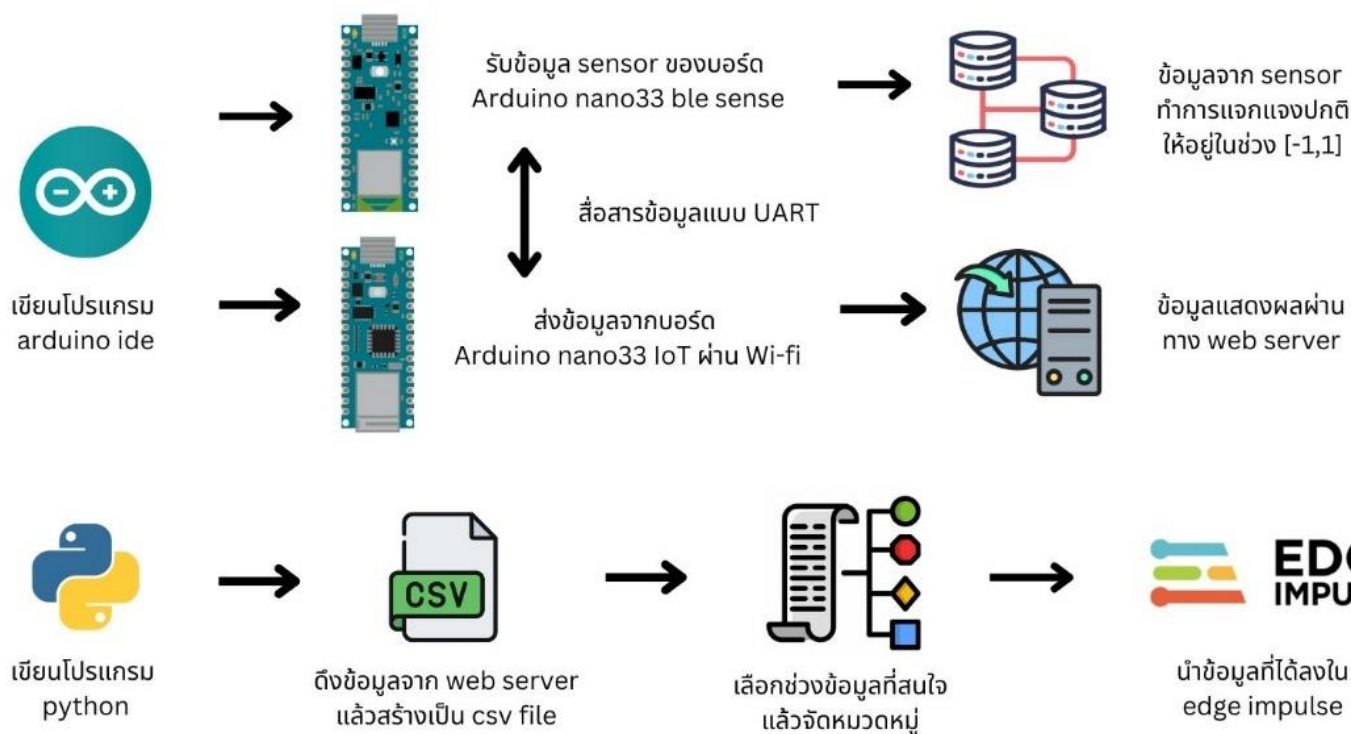
การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการ
รวบรวมข้อมูลการเคลื่อนไหว
ของมนุษย์

ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูลการเคลื่อนไหวของมนุษย์

- บอร์ด Arduino Nano 33 BLE Sense รับข้อมูล 6 ค่า (ax, ay, az, gx, gy, gz) รอบละ 0.125 วินาที และทำการการแจกแจงปกติ
- บอร์ด Arduino Nano 33 IoT รับค่าข้อมูลจากบอร์ด Arduino Nano 33 BLE Sense แล้วแสดงผลผ่าน Web Server
- เขียนโปรแกรมเพื่อรับข้อมูลจาก Web Server ทุก 0.125 วินาที แล้วสร้างเป็นไฟล์ในรูปแบบ csv

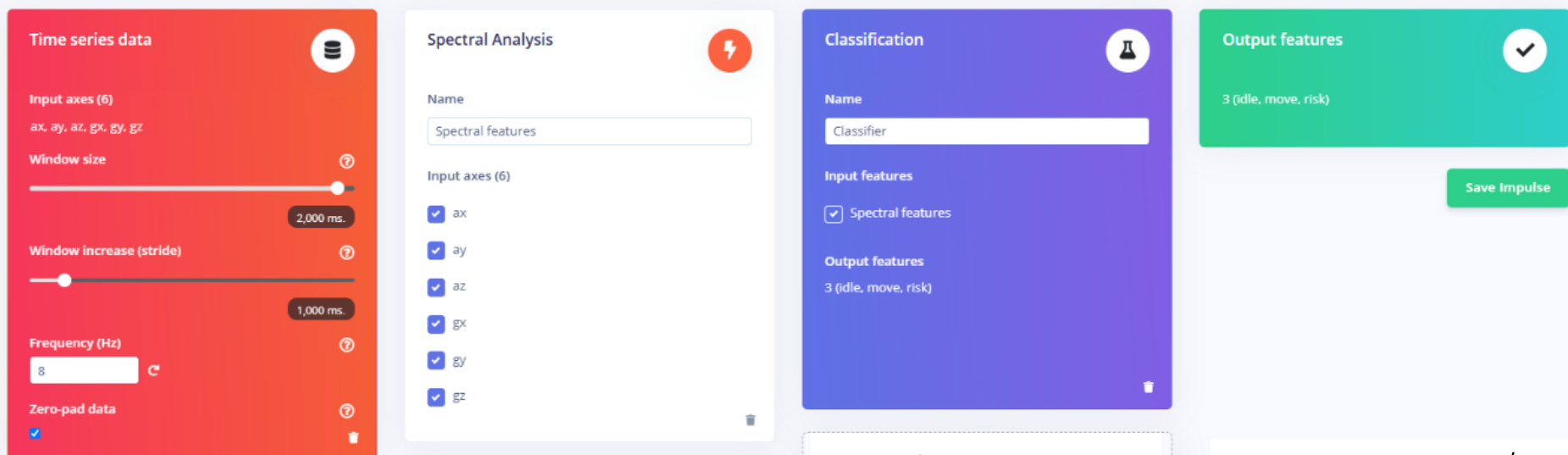
ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูลการเคลื่อนไหวของมนุษย์

รูปแบบการสื่อสารข้อมูลผ่าน wifi : Training Phase



ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูลการเคลื่อนไหวของมนุษย์ โดยสื่อสารข้อมูลผ่าน Wi-Fi

ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้แพลตฟอร์ม Edge Impulse



The screenshot displays the Edge Impulse web interface with four main panels:

- Time series data (Red panel):** Includes input axes (ax, ay, az, gx, gy, gz), window size (2,000 ms), window increase (stride) (1,000 ms), frequency (Hz) (8), and zero-pad data (checked).
- Spectral Analysis (White panel):** Includes a name field (Spectral features) and input axes (ax, ay, az, gx, gy, gz) with checkboxes.
- Classification (Purple panel):** Includes a name field (Classifier), input features (Spectral features), and output features (3 (idle, move, risk)).
- Output features (Green panel):** Includes a name field (3 (idle, move, risk)) and a Save Impulse button.

การแบ่งส่วนข้อมูล
จากข้อมูลที่รวบรวม

การวิเคราะห์ด้วย FFT
(Fast Fourier Transform)

การจำแนกประเภท
ด้วยเครือข่ายประสาท
(Neural Network)

จำแนกข้อมูลออกเป็น
3 ประเภท

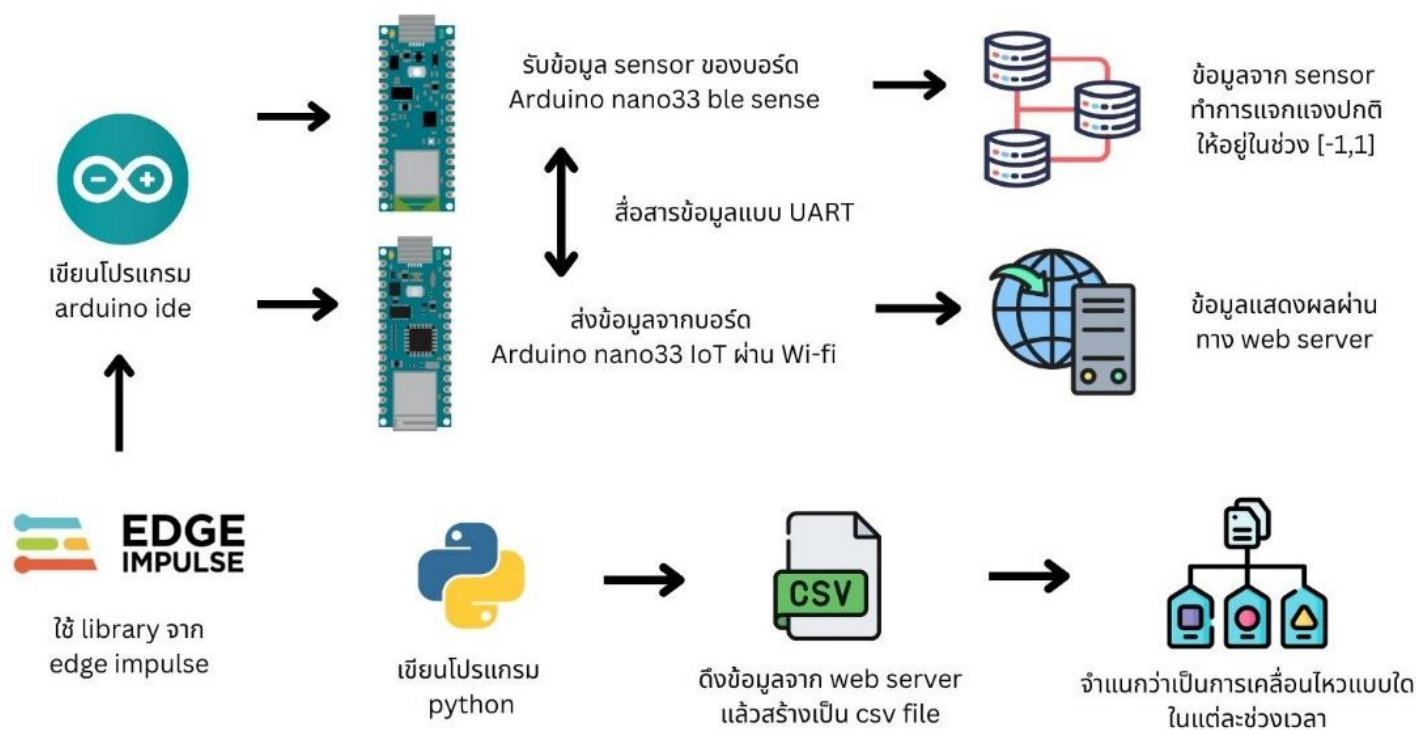
ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้แพลตฟอร์ม Edge Impulse

ขั้นตอนการทดสอบข้อมูลการเคลื่อนไหวของมนุษย์

- บอร์ด Arduino Nano 33 BLE Sense รับข้อมูล 6 ค่า (ax, ay, az, gx, gy, gz) รอบละ 0.125 วินาที และทำการการแจกแจงปกติ
- บอร์ด Arduino Nano 33 BLE Sense นำข้อมูลที่ได้ทุก 2 วินาที ประมวลผลด้วย Library จาก Edge Impulse ซึ่งจะได้ผลลัพธ์เป็นค่าความน่าจะเป็นที่แบบจำลองทำนายได้ ได้แก่ กลุ่มอยู่นิ่ง กลุ่มเคลื่อนไหว และกลุ่มเสียงอันตราย
- บอร์ด Arduino Nano 33 IoT รับค่าข้อมูลจากบอร์ด Arduino Nano 33 BLE Sense แล้วแสดงผลผ่าน Web Server

ขั้นตอนการทดสอบข้อมูลการเคลื่อนไหวของมนุษย์

รูปแบบการสื่อสารข้อมูลผ่าน wifi : Testing Phase



ขั้นตอนการทดสอบข้อมูลการเคลื่อนไหวของมนุษย์ โดยสื่อสารข้อมูลผ่าน Wi-Fi

บทที่ 4 ผลลัพธ์จากการดำเนินการ

- ผลลัพธ์จากการรวบรวมข้อมูลการเคลื่อนไหวของมนุษย์
- ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้แพลตฟอร์ม Edge Impulse
- ผลลัพธ์จากการทดสอบข้อมูลการเคลื่อนไหวของมนุษย์

ผลลัพธ์จากการรวบรวมข้อมูลการเคลื่อนไหวของมนุษย์ (Training Phase)

IMU Data

Accelerometer

X: 0.00253

Y: 0.01059

Z: 0.24155

Gyroscope

X: 0.00055

Y: 0.00024

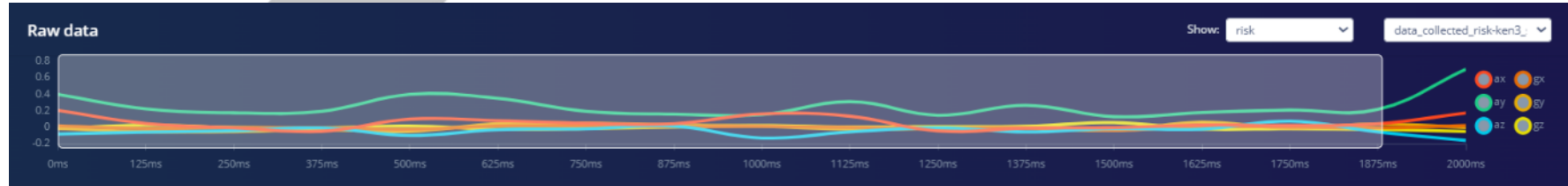
Z: 0.00143

ax	ay	az	gx	gy	gz
-0.04953	0.23972	0.0018	0.0007	0.00012	0.00043
-0.04492	0.23969	0.00266	0.00073	0.00018	0.00046
-0.04547	0.24008	0.00232	0.00052	-9.00E-05	0.00046
-0.04706	0.23953	0.00128	0.00061	0.00034	0.00067
-0.04568	0.2402	0.00189	0.00079	0.00024	0.0004
-0.04605	0.2395	0.00232	0.00046	0.00018	0.0004
-0.04626	0.23996	0.00113	0.00107	0.00027	0.00064
-0.04654	0.23975	0.00204	0.00061	0.00018	0.00049
-0.04623	0.24152	0.00034	0.00085	0.00037	0.00034
-0.04541	0.24042	0.00262	0.0007	0.00015	0.00034

ข้อมูลการรวบรวมข้อมูลการเคลื่อนไหวของมนุษย์ที่แสดงผล

ผ่านทาง Web Server และรูปแบบ csv

ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้แพลตฟอร์ม Edge Impulse



การแบ่งส่วนข้อมูลโดยกำหนดขนาดของหน้าต่าง เป็น 2 วินาที

ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้แพลตฟอร์ม Edge Impulse

Parameters Autotune parameters

Filter

Scale axes ⑦

Input decimation ratio ⑦

Type ⑦

Analysis

Type ⑦

FFT length ⑦

Take log of spectrum? ⑦ ☒

Overlap FFT frames? ⑦ ☒

Improve low frequency resolution? ⑦ ☐

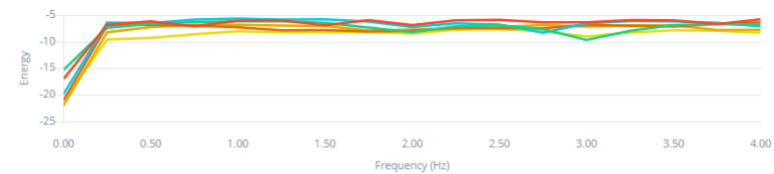
Save parameters

DSP result

After filter



Spectral power (log)



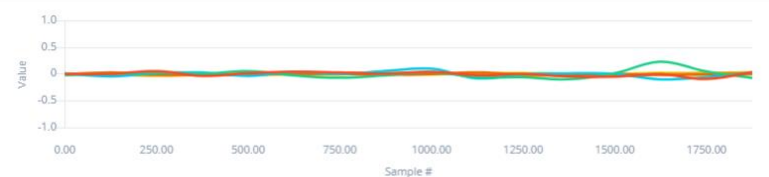
การปรับค่าพารามิเตอร์สำหรับการวิเคราะห์
ด้วย FFT

ผลลัพธ์จากการแปลง FFT ของข้อมูลกลุ่มอยู่หนึ่ง

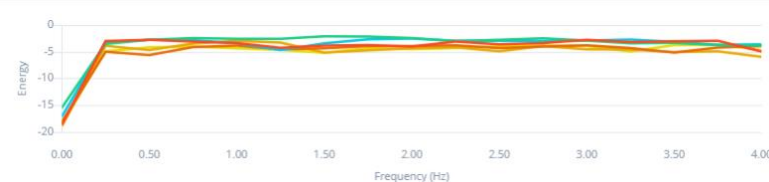
ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้แพลตฟอร์ม Edge Impulse

DSP result

After filter



Spectral power (log)



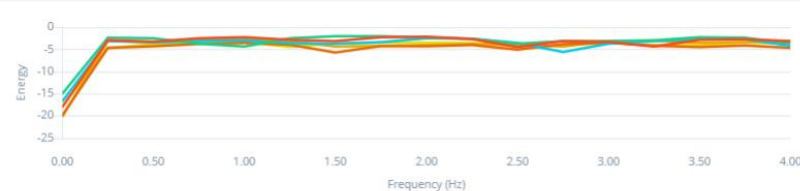
ผลลัพธ์จากการแปลง FFT ของข้อมูลกลุ่ม
เคลื่อนไหว

DSP result

After filter

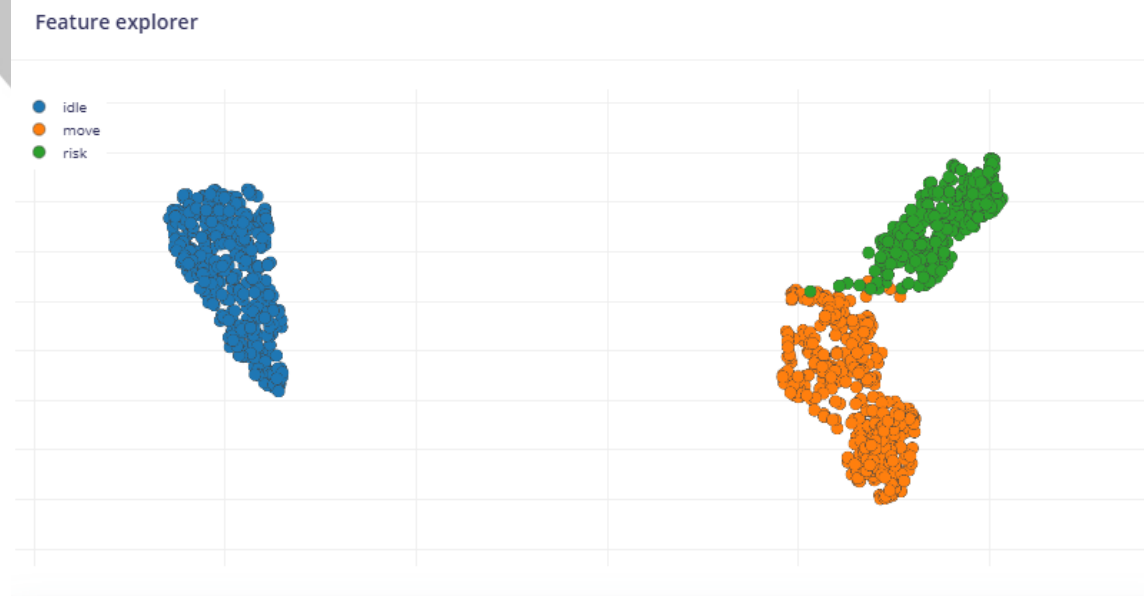


Spectral power (log)



ผลลัพธ์จากการแปลง FFT ของข้อมูลกลุ่ม
เสียงอันตราย

ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้แพลตฟอร์ม Edge Impulse



ได้ลักษณะข้อมูลจาก
การวิเคราะห์สเปกตรัม
126 ลักษณะ
ใช้เป็นชั้นข้อมูลนำเข้า
ของเครือข่ายประสาท

แผนภาพแสดงลักษณะข้อมูลของข้อมูล 3 กลุ่ม

ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้แพลตฟอร์ม Edge Impulse

Neural Network settings

Training settings

Number of training cycles ⓘ 40

Use learned optimizer ⓘ ☐

Learning rate ⓘ 0.001

Training processor ⓘ CPU

Advanced training settings

Neural network architecture

Input layer (126 features)

Dense layer (40 neurons)

Dense layer (20 neurons)

Dense layer (10 neurons)

Add an extra layer

Output layer (3 classes)

กำหนดค่า

Number of training cycles = 40

Learning rate = 0.001

กำหนดชั้นระหว่างกลาง 3 ชั้น

จำนวน 40, 20, 10 เซลล์ประสาท

การปรับค่าพารามิเตอร์ของเครือข่ายประสาทในแบบจำลองการจำแนกประเภท

ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้แพลตฟอร์ม Edge Impulse

Model

Model version: ?

Quantized (int8) ▾

Last training performance (validation set)



ACCURACY
99.1%



LOSS
0.05

Confusion matrix (validation set)

	IDLE	MOVE	RISK
IDLE	100%	0%	0%
MOVE	0%	100%	0%
RISK	0%	3.3%	96.7%
F1 SCORE	1.00	0.99	0.98

Metrics (validation set)



METRIC	VALUE
Area under ROC Curve ?	1.00
Weighted average Precision ?	0.99
Weighted average Recall ?	0.99
Weighted average F1 score ?	0.99

การประเมินแบบจำลองโดยใช้ชุดข้อมูลตรวจสอบ (Validation Set)

ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้แพลตฟอร์ม Edge Impulse



การประเมินแบบจำลองโดยใช้ชุดข้อมูลทดสอบ (Testing Set)

ผลลัพธ์จากการทดสอบข้อมูลการเคลื่อนไหวของมนุษย์ (Testing Phase)



Motion Status

Idle: **0.99609**Move: **0.00000**Risk: **0.00000**

idle	move	risk	class
0.99609	0.00391		0 idle
0.99609	0		0 idle
0.99609	0		0 idle
0.77344	0.22656		0 idle
0.01562	0.98438		0 move
0.01172	0.98828		0 move
0.05078	0.94922		0 move
0.99609	0		0 idle
0.62109	0.37891		0 idle

ข้อมูลการทดสอบข้อมูลการเคลื่อนไหวของมนุษย์ที่แสดงผล
ผ่านทาง Web Server และรูปแบบ csv

บทที่ 5 บทสรุป

- บทสรุปการทำโครงการ
- ปัญหา อุปสรรค และแนวทางแก้ไข

บทสรุปการทำโครงการ

- ประมวลผลการเคลื่อนไหวนออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มอยู่นิ่ง กลุ่มเคลื่อนไหว และกลุ่มเสี่ยงอันตราย
- ใช้แบบจำลองการวิเคราะห์สเปกตรัม โดยใช้การวิเคราะห์ด้วย FFT และใช้แบบจำลองการจำแนกประเภทโดยใช้เครือข่ายประสาท ประกอบด้วย
 ชั้นข้อมูลนำเข้า จำนวน 126 เซลล์ประสาท
 ชั้นระหว่างกลาง 3 ชั้น จำนวน 40, 20, 10 เซลล์ประสาท
 ชั้นข้อมูลส่งออก จำนวน 3 เซลล์ประสาท

ปัญหา อุปสรรค และแนวทางแก้ไข

ปัญหา อุปสรรค	แนวทางแก้ไข
1. ปัญหาการเชื่อมต่อฮาร์ดแวร์ การต่อสายไฟและสาย UART ทำให้ค่าที่วัดได้จากตัวรับรู้มีค่าที่ผิดพลาด	1. แก้ไขการเชื่อมต่อฮาร์ดแวร์ การต่อสายไฟ สาย UART และการเขียนโปรแกรม เพื่อให้ข้อมูลที่แสดงผลได้อย่างปกติ
2. ปัญหาการเขียนโปรแกรม ทำให้ข้อมูลไม่สามารถสื่อสารระหว่างบอร์ดแบบ UART ได้	
3. ปัญหาด้านแบบจำลองการเคลื่อนไหวของมนุษย์ เมื่อทดสอบในบอร์ดจริงข้อมูลที่แบบจำลองทำนายได้ไม่มีความแม่นยำเท่าที่ควร	2. ปรับปรุงแบบจำลอง โดยกำหนดระยะเวลาในการรวบรวมข้อมูลรอบละ 0.125 วินาที และนำข้อมูลไปประมวลผลรอบละ 2 วินาที หรือ 16 ชุดข้อมูล



THANK YOU

2102499 ELECTRICAL ENGINEERING PROJECT



ภาคผนวก: Source Code สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้แพลตฟอร์ม Edge Impulse

```
import tensorflow as tf
from tensorflow.keras.models import Sequential
from tensorflow.keras.layers import Dense, InputLayer, Dropout, Conv1D, Conv2D, Flatten, Reshape, MaxPooling1D,
MaxPooling2D, AveragePooling2D, BatchNormalization, Permute, ReLU, Softmax
from tensorflow.keras.optimizers.legacy import Adam

EPOCHS = args.epochs or 40
LEARNING_RATE = args.learning_rate or 0.001
# If True, non-deterministic functions (e.g. shuffling batches) are not used.
# This is False by default.
ENSURE_DETERMINISM = args.ensure_determinism
# this controls the batch size, or you can manipulate the tf.data.Dataset objects yourself
BATCH_SIZE = args.batch_size or 32
if not ENSURE_DETERMINISM:
    train_dataset = train_dataset.shuffle(buffer_size=BATCH_SIZE*4)
train_dataset=train_dataset.batch(BATCH_SIZE, drop_remainder=False)
validation_dataset = validation_dataset.batch(BATCH_SIZE, drop_remainder=False)
```




ภาคผนวก: Source Code สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้แพลตฟอร์ม Edge Impulse

```
# model architecture

model = Sequential()

model.add(Dense(40, activation='relu',
               activity_regularizer=tf.keras.regularizers.l1(0.00001)))

model.add(Dense(20, activation='relu',
               activity_regularizer=tf.keras.regularizers.l1(0.00001)))

model.add(Dense(10, activation='relu',
               activity_regularizer=tf.keras.regularizers.l1(0.00001)))

model.add(Dense(classes, name='y_pred', activation='softmax'))


# this controls the learning rate

opt = Adam(learning_rate=LEARNING_RATE, beta_1=0.9, beta_2=0.999)

callbacks.append(BatchLoggerCallback(BATCH_SIZE, train_sample_count, epochs=EPOCHS,
                                     ensure_determinism=ENSURE_DETERMINISM))
```



ภาคผนวก: Source Code สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้แพลตฟอร์ม Edge Impulse

```
# train the neural network
```

```
model.compile(loss='categorical_crossentropy', optimizer=opt, metrics=['accuracy'])
```

```
model.fit(train_dataset, epochs=EPOCHS, validation_data=validation_dataset, verbose=2, callbacks=callbacks)
```

```
# Use this flag to disable per-channel quantization for a model.
```

```
# This can reduce RAM usage for convolutional models, but may have
```

```
# an impact on accuracy.
```

```
disable_per_channel_quantization = False
```