



การประมาณการณที่วงทำเพื่อตรวจจับการล้มในบ้าน ด้วยการใช้มีเดียไปป์  
POSE ESTIMATION FOR INDOOR FALL DETECTION USING MEDIAPIPE



บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ



การประมาณการณ์ที่วงทำเพื่อตรวจจับการล้มในบ้าน ด้วยการใช้มีเดียไปป์



สารนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการข้อมูล  
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
ปีการศึกษา 2566  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

POSE ESTIMATION FOR INDOOR FALL DETECTION USING MEDIAPIPE



PINYASIGARNNE WONGKIETKAJOHN

A Master's Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of MASTER OF SCIENCE

(Data Science)

Faculty of Science, Srinakharinwirot University

2023

Copyright of Srinakharinwirot University



สารนิพนธ์

เรื่อง

การประมาณการณ์ห่วงทำเพื่อตรวจจับการล้มในบ้าน ด้วยการใช้มีเดียไปป์

ของ

พิชญศิกานต์ วงศ์เกียรติ์จักร

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการข้อมูล

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าสารนิพนธ์

ที่ปรึกษาหลัก

(อาจารย์ ดร.วีระ สอึ้ง)

ประธาน

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพัฒนา เอื้อทวิ  
เกียรติ)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริสรพ เหล่าหะ  
เกียรติ)

|                  |  |
|------------------|--|
| ชื่อเรื่อง       | การประมาณการณ์ท่วงท่าเพื่อตรวจจับการล้มในบ้าน ด้วยการใช้มีเดียไปป์ |
| ผู้วิจัย         | พิชญศิกานต์ วงศ์เกียรติ์ชจร  |
| ปริญญา           | วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต   |
| ปีการศึกษา       | 2566   |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | อาจารย์ ดร. วีระ สอิ่ง   |

ปัจจุบันจำนวนผู้สูงอายุในประเทศไทยมีเพิ่มมากขึ้นทุกปี ประกอบกับการใช้ชีวิตในปัจจุบันของสมาชิกในครอบครัวที่มีการทำงานนอกบ้านมากขึ้น จึงส่งผลให้ผู้สูงอายุหลายคนต้องอาศัยที่บ้านเพียงลำพัง ซึ่งมีความเสี่ยงที่อาจจะเกิดอุบัติเหตุกับผู้สูงอายุได้หลายประการ ซึ่งอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นมากที่สุดเหตุการณ์หนึ่งคือการล้มในบ้าน ส่งผลไปสู่ผลให้เกิดอาการบาดเจ็บ หรือถึงขั้นเสียชีวิตได้ถ้าการช่วยเหลือไม่ทันเวลา และมากกว่านั้นจากสถิติพบว่าอุบัติเหตุจากการหกล้มในผู้สูงอายุจะเพิ่มมากขึ้นอีกด้วย เมื่อเกิดเหตุการณ์ของการหกล้มภายในบ้านของผู้สูงอายุ ทำให้บางคนไม่สามารถพยุงตนเองให้ลุกขึ้น จึงทำให้ไม่สามารถติดต่อบุคคลอื่นให้เข้ามาช่วยเหลือได้ จึงทำให้ผู้วิจัยคิดค้นงานวิจัยที่ศึกษาการตรวจจับการล้มโดยใช้มีเดียไปป์เป็นหนึ่งในเครื่องมือจากชุดข้อมูลวิดีโอคลิป เพื่อศึกษามุมกล้องที่ดีที่สุดในการทดลอง เพื่อนำเสนอตำแหน่งที่เหมาะสมกับการตรวจจับการหกล้มจากระบบที่จะนำเสนอ รวมไปถึงวิธีการตรวจจับการล้มด้วยระบบการมองเห็นของคอมพิวเตอร์ และการตัดสินใจการหกล้มด้วยการนำการเรียนรู้ของเครื่อง ทั้งวิธีแบบใช้ค่าเกณฑ์และไม่ใช้ค่าเกณฑ์ โดยได้แบ่งขั้นตอนการทดลองออกเป็น 2 ส่วนหลัก ในส่วนแรก จะเป็นการทดลองโดยใช้วิดีโอคลิปกับวิธีการตรวจจับการล้มแบบใช้ค่าเกณฑ์ ประกอบด้วย การใช้อัตราส่วนของขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ และมุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) และจะใช้ผลลัพธ์ที่ได้ นำมาปรับปรุงหมวดหมู่ และใช้เป็นชุดข้อมูลในการตรวจจับการล้มแบบไม่ใช้ค่าเกณฑ์ (ใช้การเรียนรู้ของเครื่อง) โดยใช้โมเดล Random forest และ K-NN จากการทดลองและการวิเคราะห์ผลลัพธ์พบว่า มุมกล้องที่ดีที่สุดคือมุมกล้องที่ 2 ส่วนผลการตรวจจับการล้มที่ดีที่สุดจะเป็น การตรวจจับการล้มโดยใช้ random forest จากชุดข้อมูลผลลัพธ์การทดลองมุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) ด้วยความแม่นยำอยู่ที่ 98% ในตรวจจับเหตุการณ์ของการล้มในสถานที่ที่กำหนดได้

คำสำคัญ : การล้มของมนุษย์, การตรวจจับการล้ม, การเรียนรู้ของเครื่อง

|                |   |
|----------------|---|
| Title          | POSE ESTIMATION FOR INDOOR FALL DETECTION USING MEDIAPIPE |
| Author         | PINYASIGARNNE WONGKIETKAJOHN                              |
| Degree         | MASTER OF SCIENCE   |
| Academic Year  | 2023  |
| Thesis Advisor | Vera Sa-Ing , Ph.D.                                       |

The elderly population in Thailand is steadily increasing each year. However, the contemporary lifestyle choices of family members, who are increasingly engaged in work outside the home. Consequently, a significant number of elderly individuals find themselves living alone, exposing them to various risks, with accidents being a primary concern. The most prevalent accidents are falls within the home, leading to injuries, and in severe cases, fatalities, if prompt assistance is not provided. From these problems, this research introduces a novel approach to address fall detection using webcams. The study aims to identify optimal camera positions and angles through video clip datasets for experimentation within the fall detection system. The research integrates computer vision techniques and machine learning-based decision-making to develop a robust and efficient fall detection system for the home environments of elderly individuals. The experimental process is divided into two main parts. The first part involves video clips using a criterion-based fall detection method for considering the ratio of the bounding box around the human body and the angles of the silhouette of a human body, calculated by hips, ankles, and ground line. The obtained results are then refined and used as a dataset for non-criterion-based fall detection using Random Forest (RF) and K-Nearest Neighbor (K-NN) models. From the experimental results and analysis, camera number 2 is the optimal position. The best fall detection results are achieved using the Random Forest model, with an accuracy of 98, based on the experiment using the angles of the silhouette of a human body. These results underscore the potential of the proposed system to effectively and accurately detect falls among the elderly. Therefore, this research contributes to elder care and safety by presenting an innovative fall detection system by combining webcam-based computer vision and machine learning to demonstrate the safety and well-being of elderly individuals within home environments.

Keyword : Human Fall, Fall Detection, Machine Learning

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ ดร.วีระ สอิ่ง ที่สนับสนุนการทำสารนิพนธ์ครั้งนี้ ทั้งด้านความรู้และกำลังใจ ขอขอบคุณอาจารย์คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้ความรู้ที่จำเป็นต่อการทำสารนิพนธ์นี้ ขอคุณ รศ. ดร. สุพัฒนา เอื้อทวีเกียรติ ประธานกรรมการสอบปากเปล่าสารนิพนธ์ ผศ.ดร.ศิริสรรพ เหล่าหะเกียรติ ประธานกรรมการสอบเค้าโครงสารนิพนธ์ และกรรมการสอบปากเปล่าสารนิพนธ์ ผศ.ดร.นุวิทย์ วิวัฒน์วัฒนา กรรมการสอบเค้าโครงสารนิพนธ์ ที่ช่วยพิจารณาและชี้แจงและเติมเต็มให้สารนิพนธ์นี้ และ ขอขอบคุณครอบครัว คุณแม่เล็ก และพี่เอ ที่เข้าใจและคอยอยู่เคียงข้างเสมอ รวมไปถึงการสนับสนุนผู้ทำสารนิพนธ์นี้ในทุกๆ ด้าน โดยเฉพาะด้านกำลังใจ ผู้ทำสารนิพนธ์มีความตั้งใจอยากให้สารนิพนธ์นี้เป็นประโยชน์ต่อสังคม และต่อยอดเพื่อลดความเสี่ยงของผู้สูงอายุของการหกล้มในบ้าน

พิชญศิกานต์ วงศ์เกียรติขจร

## สารบัญ

|   | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย .....   | ง    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....   | จ    |
| กิตติกรรมประกาศ.....  | ฉ    |
| สารบัญ .....  | ช    |
| สารบัญตาราง .....   | ฎ    |
| สารบัญรูปภาพ .....  | ฏ    |
| บทที่ 1 บทนำ.....   | 1    |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย.....   | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการทำงานวิจัย.....   | 4    |
| 1.3 ขอบเขตของการทำงานวิจัย.....   | 4    |
| 1.4 ขั้นตอนของการทำงานวิจัย.....  | 4    |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย .....  | 5    |
| บทที่ 2 วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....  | 6    |
| 2.1 งานวิจัย Research of fall detection and fall prevention technologies: A systematic Review (Ren et al., 2019) .....    | 6    |
| 2.2 งานวิจัยเรื่อง Fall Detection Based on Key Points of Human-Skeleton Using Pose (Chen et al., 2020).....               | 7    |
| 2.3 งานวิจัยเรื่อง Application of google media pose estimation using single camera (Zhang, 2022).....                     | 10   |
| 2.4 งานวิจัยเรื่อง Fall Detection Algorithm Based on Inertial Sensor and Hierarchical Decision (Zheng et al., 2023) ..... | 11   |

|  |    |
|--|----|
| 2.5 งานวิจัยเรื่อง Home Camera-Based Fall Detection System for the Elderly (Miguel et al., 2017) .....   | 12 |
| 2.6 งานวิจัยเรื่อง Comparative study on Fall Detection using Machine Learning Approaches (Tongskulroongruang et al., 2022) .....   | 12 |
| 2.7 งานวิจัยเรื่อง Using Deep Neural Networks for Human Fall Detection Based on Pose Estimation (Salimi et al., 2022) .....  | 13 |
| 2.8 งานวิจัยเรื่อง Video-based Fall Detection for Seniors with Human Pose Estimation (Huang et al., 2018) .....  | 13 |
| 2.9 งานวิจัยเรื่อง Video based automatic fall detection in indoor environment (Vaidehi et al., 2011) .....   | 13 |
| 2.10 งานวิจัยเรื่อง Multi-Occupancy Fall Detection Using Non-Invasive Thermal Vision Sensor (Zhong et al., 2021).....  | 14 |
| บทที่ 3 กระบวนการ และวิธีการดำเนินการวิจัย .....   | 15 |
| 3.1 การได้มาของข้อมูล (Data Acquisition).....  | 15 |
| 3.2 การเตรียมข้อมูล (Data Preparation) .....   | 16 |
| 3.3 การกำหนดวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล (Data analysis method).....   | 17 |
| 3.4 การประเมินผล (Evaluation).....   | 22 |
| บทที่ 4 การทดลองและผลลัพธ์ของงานวิจัย .....  | 25 |
| 4.1 ผลการทดลอง จากการตรวจจับการล้มโดยวิธีการใช้อัตราส่วนของขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม และการเปลี่ยนแปลงองศาของร่างกายเมื่อล้ม (มุมสะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน)..... | 25 |
| 4.1.1 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 1 .....   | 25 |
| 4.1.1.1 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 1 กล้องที่ 1 .....  | 25 |
| 4.1.1.2 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 1 กล้องที่ 2 .....  | 28 |
| 4.1.1.3 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 1 กล้องที่ 3 .....  | 30 |

|   |    |
|---|----|
| 4.1.1.4 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 1 ครั้งที่ 4 ..... | 32 |
| 4.1.1.5 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 1 ครั้งที่ 5 ..... | 34 |
| 4.1.1.6 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 1 ครั้งที่ 6 ..... | 36 |
| 4.1.1.7 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 1 ครั้งที่ 7 ..... | 38 |
| 4.1.1.8 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 1 ครั้งที่ 8 ..... | 40 |
| 4.1.2 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 2 .....              | 42 |
| 4.1.2.1 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 2 ครั้งที่ 1 ..... | 42 |
| 4.1.2.2 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 2 ครั้งที่ 2 ..... | 44 |
| 4.1.2.3 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 2 ครั้งที่ 3 ..... | 46 |
| 4.1.2.4 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 2 ครั้งที่ 4 ..... | 48 |
| 4.1.2.5 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 2 ครั้งที่ 5 ..... | 50 |
| 4.1.2.6 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 2 ครั้งที่ 6 ..... | 52 |
| 4.1.2.7 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 2 ครั้งที่ 7 ..... | 54 |
| 4.1.2.8 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 2 ครั้งที่ 8 ..... | 56 |
| 4.1.3 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 3 .....              | 58 |
| 4.1.3.1 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 3 ครั้งที่ 1 ..... | 58 |
| 4.1.3.2 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 3 ครั้งที่ 2 ..... | 60 |
| 4.1.3.3 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 3 ครั้งที่ 3 ..... | 62 |
| 4.1.3.4 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 3 ครั้งที่ 4 ..... | 64 |
| 4.1.3.5 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 3 ครั้งที่ 5 ..... | 66 |
| 4.1.3.6 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 3 ครั้งที่ 6 ..... | 68 |
| 4.1.3.7 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 3 ครั้งที่ 7 ..... | 70 |
| 4.1.3.8 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 3 ครั้งที่ 8 ..... | 72 |

|   |     |
|---|-----|
| 4.1.4 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 4.....                                     | 74  |
| 4.1.4.1 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 4 กล้องที่ 1.....                        | 74  |
| 4.1.4.2 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 4 กล้องที่ 2.....                        | 76  |
| 4.1.4.3 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 4 กล้องที่ 3.....                        | 79  |
| 4.1.4.4 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 4 กล้องที่ 4.....                        | 81  |
| 4.1.4.5 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 4 กล้องที่ 5.....                        | 84  |
| 4.1.4.6 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 4 กล้องที่ 6.....                        | 86  |
| 4.1.4.7 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 4 กล้องที่ 7.....                        | 89  |
| 4.1.4.8 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 4 กล้องที่ 8.....                        | 91  |
| 4.1.5 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 5.....                                     | 94  |
| 4.1.5.1 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 5 กล้องที่ 1.....                        | 94  |
| 4.1.5.2 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 5 กล้องที่ 2.....                        | 96  |
| 4.1.5.3 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 5 กล้องที่ 3.....                        | 98  |
| 4.1.5.4 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 5 กล้องที่ 4.....                        | 100 |
| 4.1.5.5 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 5 กล้องที่ 5.....                        | 102 |
| 4.1.5.6 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 5 กล้องที่ 6.....                        | 104 |
| 4.1.5.7 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 5 กล้องที่ 7.....                        | 106 |
| 4.1.5.8 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 5 กล้องที่ 8.....                        | 108 |
| 4.2 ผลการทดลอง จากการวิเคราะห์ข้อมูลจากไฟล์ csv ด้วย Machine learning ..... | 110 |
| บทที่ 5 การสรุปผลการวิจัย การอภิปรายผล และข้อเสนอแนะของงานวิจัย .....       | 111 |
| บรรณานุกรม .....  | 114 |
| ประวัติผู้เขียน.....  | 117 |



## สารบัญตาราง

|   | หน้า |
|---|------|
| ตาราง 1 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 1 กล้องที่ 1 .....  | 26   |
| ตาราง 2 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 1 กล้องที่ 2 .....  | 28   |
| ตาราง 3 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 1 กล้องที่ 3 .....  | 30   |
| ตาราง 4 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 1 กล้องที่ 4 .....  | 32   |
| ตาราง 5 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 1 กล้องที่ 5 .....  | 34   |
| ตาราง 6 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 1 กล้องที่ 6 .....  | 36   |
| ตาราง 7 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 1 กล้องที่ 7 .....  | 38   |
| ตาราง 8 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 1 กล้องที่ 8 .....  | 40   |
| ตาราง 9 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 2 กล้องที่ 1 .....  | 42   |
| ตาราง 10 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 2 กล้องที่ 2 ..... | 44   |
| ตาราง 11 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 2 กล้องที่ 3 ..... | 46   |
| ตาราง 12 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 2 กล้องที่ 4 ..... | 48   |
| ตาราง 13 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 2 กล้องที่ 5 ..... | 50   |
| ตาราง 14 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 2 กล้องที่ 6 ..... | 52   |
| ตาราง 15 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 2 กล้องที่ 7 ..... | 54   |
| ตาราง 16 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 2 กล้องที่ 8 ..... | 56   |
| ตาราง 17 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 3 กล้องที่ 1 ..... | 58   |
| ตาราง 18 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 3 กล้องที่ 2 ..... | 60   |
| ตาราง 19 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 3 กล้องที่ 3 ..... | 62   |
| ตาราง 20 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 3 กล้องที่ 4 ..... | 64   |
| ตาราง 21 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 3 กล้องที่ 5 ..... | 66   |



ตาราง 45 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 5 ครั้งที่ 5 ..... 102

ตาราง 46 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 5 ครั้งที่ 6 ..... 104

ตาราง 47 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 5 ครั้งที่ 7 ..... 106

ตาราง 48 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 5 ครั้งที่ 8 ..... 108

ตาราง 49 ค่าเฉลี่ย Accuracy Recall Precision และ F1-score ของการทดลองตรวจจับการล้ม  
ของอัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) และ ตรวจจับการล้มโดยใช้  
มุมมองสร้างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) ทั้ง 5 สถานการณ์ ..... 110

ตาราง 50 ผลการทดลองจากการวิเคราะห์ข้อมูลจากไฟล์ csv ด้วย Machine learning ..... 110



## สารบัญรูปภาพ

|  | หน้า |
|--|------|
| ภาพประกอบ 1 อัตราส่วนประชากรที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไปต่อประชากรทั้งหมด ในประเทศไทย ปี 2565.....  | 3    |
| ภาพประกอบ 2 แผนผังแสดงจุดเชื่อมต่อของมนุษย์ .....  | 8    |
| ภาพประกอบ 3 ตัวอย่างชุดข้อมูลภาพแสดงถึงเหตุการณ์ล้มที่ถูกลมองผ่านกล้องทั้ง 8 ตัว ที่ติดตั้งอยู่ในมุมต่างๆของห้อง .....   | 15   |
| ภาพประกอบ 4 การตรวจจับการล้มด้วยอัตราส่วนของขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) .....  | 19   |
| ภาพประกอบ 5 ภาพประกอบการคำนวณเวกเตอร์จากข้อเท้าไปยังสะโพก .....  | 20   |
| ภาพประกอบ 6 ประกอบการคำนวณหา dot product magnitude และ cosine.....   | 21   |
| ภาพประกอบ 7 การตรวจจับการล้มโดยใช้การเปลี่ยนแปลงองศาของร่างกาย (มุมสะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) .....  | 22   |
| ภาพประกอบ 8 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 1 กล้องที่ 1 .....   | 25   |
| ภาพประกอบ 9 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 1 กล้องหมายเลข 1 .....             | 26   |
| ภาพประกอบ 10 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 1 กล้องที่ 1 ..... | 27   |
| ภาพประกอบ 11 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 1 กล้องที่ 2 .....  | 28   |
| ภาพประกอบ 12 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 1 กล้องหมายเลข 2 .....            | 29   |

|  |    |
|--|----|
| ภาพประกอบ 13 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก<br>ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 1<br>กล่องที่ 2 ..... | 29 |
| ภาพประกอบ 14 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 1 กล่องที่ 3 .....  | 30 |
| ภาพประกอบ 15 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกาย<br>มนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 1 กล่องหมายเลข 3<br>.....             | 31 |
| ภาพประกอบ 16 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก<br>ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 1<br>กล่องที่ 3 ..... | 31 |
| ภาพประกอบ 17 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 1 กล่องที่ 4 .....  | 32 |
| ภาพประกอบ 18 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกาย<br>มนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 1 กล่องหมายเลข 4<br>.....             | 33 |
| ภาพประกอบ 19 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก<br>ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 1<br>กล่องที่ 4 ..... | 33 |
| ภาพประกอบ 20 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 1 กล่องที่ 5 .....  | 34 |
| ภาพประกอบ 21 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกาย<br>มนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 1 กล่องหมายเลข 5<br>.....             | 35 |
| ภาพประกอบ 22 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก<br>ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 1<br>กล่องที่ 5 ..... | 35 |
| ภาพประกอบ 23 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 1 กล่องที่ 6 .....  | 36 |

|  |    |
|--|----|
| ภาพประกอบ 24 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 1 กล่องหมายเลข 6 .....              | 37 |
| ภาพประกอบ 25 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 1 กล่องที่ 6 ..... | 37 |
| ภาพประกอบ 26 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 1 กล่องที่ 7 .....  | 38 |
| ภาพประกอบ 27 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 1 กล่องหมายเลข 7 .....              | 39 |
| ภาพประกอบ 28 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 1 กล่องที่ 7 ..... | 39 |
| ภาพประกอบ 29 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 1 กล่องที่ 8 .....  | 40 |
| ภาพประกอบ 30 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 1 กล่องหมายเลข 8 .....              | 41 |
| ภาพประกอบ 31 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 1 กล่องที่ 8 ..... | 41 |
| ภาพประกอบ 32 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 2 กล่องที่ 1 .....  | 42 |
| ภาพประกอบ 33 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 2 กล่องหมายเลข 1 .....              | 43 |
| ภาพประกอบ 34 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 2 กล่องที่ 1 ..... | 43 |

|  |    |
|--|----|
| ภาพประกอบ 35 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 2 กล้องที่ 2 .....  | 44 |
| ภาพประกอบ 36 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกาย<br>มนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 2 กล้องหมายเลข 2<br>.....             | 45 |
| ภาพประกอบ 37 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก<br>ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 2<br>กล้องที่ 2 ..... | 45 |
| ภาพประกอบ 38 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 2 กล้องที่ 3 .....  | 46 |
| ภาพประกอบ 39 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกาย<br>มนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 2 กล้องหมายเลข 3<br>.....             | 47 |
| ภาพประกอบ 40 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก<br>ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 2<br>กล้องที่ 3 ..... | 47 |
| ภาพประกอบ 41 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 2 กล้องที่ 4 .....  | 48 |
| ภาพประกอบ 42 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกาย<br>มนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 2 กล้องหมายเลข 4<br>.....             | 49 |
| ภาพประกอบ 43 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก<br>ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 2<br>กล้องที่ 4 ..... | 49 |
| ภาพประกอบ 44 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 2 กล้องที่ 5 .....  | 50 |
| ภาพประกอบ 45 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกาย<br>มนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 2 กล้องหมายเลข 5<br>.....             | 51 |

|  |    |
|--|----|
| ภาพประกอบ 46 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก<br>ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 2<br>กล่องที่ 5 ..... | 51 |
| ภาพประกอบ 47 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 2 กล่องที่ 6 .....  | 52 |
| ภาพประกอบ 48 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกาย<br>มนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 2 กล่องหมายเลข 6<br>.....             | 53 |
| ภาพประกอบ 49 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก<br>ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 2<br>กล่องที่ 6 ..... | 53 |
| ภาพประกอบ 50 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 2 กล่องที่ 7 .....  | 54 |
| ภาพประกอบ 51 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกาย<br>มนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 2 กล่องหมายเลข 7<br>.....             | 55 |
| ภาพประกอบ 52 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก<br>ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 2<br>กล่องที่ 7 ..... | 55 |
| ภาพประกอบ 53 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 2 กล่องที่ 8 .....  | 56 |
| ภาพประกอบ 54 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกาย<br>มนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 2 กล่องหมายเลข 8<br>.....             | 57 |
| ภาพประกอบ 55 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก<br>ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 2<br>กล่องที่ 8 ..... | 57 |
| ภาพประกอบ 56 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 3 กล่องที่ 1 .....  | 58 |



|  |    |
|--|----|
| ภาพประกอบ 57 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 3 กล่องหมายเลข 1 .....              | 59 |
| ภาพประกอบ 58 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 3 กล่องที่ 1 ..... | 59 |
| ภาพประกอบ 59 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 3 กล่องที่ 2 .....  | 60 |
| ภาพประกอบ 60 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 3 กล่องหมายเลข 2 .....              | 61 |
| ภาพประกอบ 61 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 3 กล่องที่ 2 ..... | 61 |
| ภาพประกอบ 62 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 3 กล่องที่ 3 .....  | 62 |
| ภาพประกอบ 63 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 3 กล่องหมายเลข 3 .....              | 63 |
| ภาพประกอบ 64 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 3 กล่องที่ 3 ..... | 63 |
| ภาพประกอบ 65 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 3 กล่องที่ 4 .....  | 64 |
| ภาพประกอบ 66 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 3 กล่องหมายเลข 4 .....              | 65 |
| ภาพประกอบ 67 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 3 กล่องที่ 4 ..... | 65 |

|  |    |
|--|----|
| ภาพประกอบ 68 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 3 กล้องที่ 5 .....  | 66 |
| ภาพประกอบ 69 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 3 กล้องหมายเลข 5 .....              | 67 |
| ภาพประกอบ 70 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 3 กล้องที่ 5 ..... | 67 |
| ภาพประกอบ 71 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 3 กล้องที่ 6 .....  | 68 |
| ภาพประกอบ 72 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 3 กล้องหมายเลข 6 .....              | 69 |
| ภาพประกอบ 73 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 3 กล้องที่ 6 ..... | 69 |
| ภาพประกอบ 74 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 3 กล้องที่ 7 .....  | 70 |
| ภาพประกอบ 75 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 3 กล้องหมายเลข 7 .....              | 71 |
| ภาพประกอบ 76 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 3 กล้องที่ 7 ..... | 71 |
| ภาพประกอบ 77 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 3 กล้องที่ 8 .....  | 72 |
| ภาพประกอบ 78 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 3 กล้องหมายเลข 8 .....              | 73 |

ภาพประกอบ 79 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก  
ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 3  
กล่องที่ 8 ..... 73

ภาพประกอบ 80 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 4 กล่องที่ 1 ..... 74

ภาพประกอบ 81 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกาย  
มนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 4 กล่องหมายเลข 1  
..... 75

ภาพประกอบ 82 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก  
ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 4  
กล่องที่ 1 ..... 76

ภาพประกอบ 83 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 4 กล่องที่ 2 ..... 76

ภาพประกอบ 84 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกาย  
มนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 4 กล่องหมายเลข 2  
..... 78

ภาพประกอบ 85 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก  
ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 4  
กล่องที่ 2 ..... 78

ภาพประกอบ 86 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 4 กล่องที่ 3 ..... 79

ภาพประกอบ 87 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกาย  
มนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 4 กล่องหมายเลข 3  
..... 80

ภาพประกอบ 88 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก  
ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 4  
กล่องที่ 3 ..... 81

ภาพประกอบ 89 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 4 กล่องที่ 4 ..... 81

|   |    |
|---|----|
| ภาพประกอบ 90 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 4 กล่องหมายเลข 4 .....               | 83 |
| ภาพประกอบ 91 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 4 กล่องที่ 4 .....  | 83 |
| ภาพประกอบ 92 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 4 กล่องที่ 5 .....   | 84 |
| ภาพประกอบ 93 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 4 กล่องหมายเลข 5 .....               | 85 |
| ภาพประกอบ 94 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 4 กล่องที่ 5 .....  | 86 |
| ภาพประกอบ 95 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 4 กล่องที่ 6 .....   | 86 |
| ภาพประกอบ 96 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 4 กล่องหมายเลข 6 .....               | 88 |
| ภาพประกอบ 97 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 4 กล่องที่ 6 .....  | 88 |
| ภาพประกอบ 98 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 4 กล่องที่ 7 .....   | 89 |
| ภาพประกอบ 99 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 4 กล่องหมายเลข 7 .....               | 90 |
| ภาพประกอบ 100 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 4 กล่องที่ 7 ..... | 91 |

|   |    |
|---|----|
| ภาพประกอบ 101 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 4 กล้องที่ 8 .....  | 91 |
| ภาพประกอบ 102 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 4 กล้องหมายเลข 8 .....              | 93 |
| ภาพประกอบ 103 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 4 กล้องที่ 8 ..... | 93 |
| ภาพประกอบ 104 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 5 กล้องที่ 1 .....  | 94 |
| ภาพประกอบ 105 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 5 กล้องหมายเลข 1 .....              | 95 |
| ภาพประกอบ 106 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 5 กล้องที่ 1 ..... | 95 |
| ภาพประกอบ 107 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 5 กล้องที่ 2 .....  | 96 |
| ภาพประกอบ 108 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 5 กล้องหมายเลข 2 .....              | 97 |
| ภาพประกอบ 109 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 5 กล้องที่ 2 ..... | 97 |
| ภาพประกอบ 110 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 5 กล้องที่ 3 .....  | 98 |
| ภาพประกอบ 111 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 5 กล้องหมายเลข 3 .....              | 99 |

|  |     |
|--|-----|
| ภาพประกอบ 112 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก<br>ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณที่ 5<br>กล้องที่ 3 ..... | 99  |
| ภาพประกอบ 113 ลำดับภาพจากสถานการณที่ 5 กล้องที่ 4 .....  | 100 |
| ภาพประกอบ 114 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกาย<br>มนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณที่ 5 กล้องหมายเลข 4<br>.....             | 101 |
| ภาพประกอบ 115 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก<br>ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณที่ 5<br>กล้องที่ 4 ..... | 101 |
| ภาพประกอบ 116 ลำดับภาพจากสถานการณที่ 5 กล้องที่ 5 .....  | 102 |
| ภาพประกอบ 117 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกาย<br>มนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณที่ 5 กล้องหมายเลข 5<br>.....             | 103 |
| ภาพประกอบ 118 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก<br>ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณที่ 5<br>กล้องที่ 5 ..... | 103 |
| ภาพประกอบ 119 ลำดับภาพจากสถานการณที่ 5 กล้องที่ 6 .....  | 104 |
| ภาพประกอบ 120 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกาย<br>มนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณที่ 5 กล้องหมายเลข 6<br>.....             | 105 |
| ภาพประกอบ 121 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก<br>ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณที่ 5<br>กล้องที่ 6 ..... | 105 |
| ภาพประกอบ 122 ลำดับภาพจากสถานการณที่ 5 กล้องที่ 7 .....  | 106 |

|   |     |
|---|-----|
| ภาพประกอบ 123 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 5 กล้องหมายเลข 7 .....              | 107 |
| ภาพประกอบ 124 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 5 กล้องที่ 7 ..... | 107 |
| ภาพประกอบ 125 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 5 กล้องที่ 8 .....  | 108 |
| ภาพประกอบ 126 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 5 กล้องหมายเลข 8 .....              | 109 |
| ภาพประกอบ 127 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 5 กล้องที่ 8 ..... | 109 |



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ประเทศไทยก้าวเข้าสู่การเป็นสังคมสูงวัย (Aged Society) มาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 จนถึงปี พ.ศ. 2564 ไทยมีสัดส่วนประชากรกลุ่มผู้สูงอายุหรือมีอายุ 60 ปีขึ้นไปมากกว่า 12 ล้านคน หรือคิดเป็นสัดส่วนราว 1 ใน 6 ของประชากรไทย (กระทรวงมหาดไทย, 2566) สถิตินี้ไม่เพียงแต่เป็นตัวบ่งชี้ถึงการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างอายุ แต่ยังสะท้อนถึงความท้าทายที่เกิดขึ้นในหลายด้าน โดยผู้ที่มีส่วนที่ต้องรับและจัดการกับความท้าทายเหล่านี้ จำเป็นต้องบริหารความเสี่ยงเพื่อรับมือกับผลกระทบรอบด้าน เช่น ผลกระทบต่อระบบสาธารณสุข ระบบเศรษฐกิจ ไปจนถึงผลกระทบในระดับครัวเรือน ไม่ว่าจะเป็ครอบครัว หรือตัวผู้สูงอายุเอง เมื่อจำนวนผู้สูงอายุมีเพิ่มมากขึ้น ความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น ปัญหาต่างๆ ที่สามารถพบเจอได้ในผู้สูงอายุก็จะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยหนึ่งในปัญหาที่มักเกิดขึ้นกับผู้สูงอายุคือ การหกล้ม โดยอาจจะมาจากข้อจำกัดทางด้านร่างกาย สมรรถนะที่ถดถอยลง หรือเป็นเพราะสภาพแวดล้อมรอบข้างไม่เอื้ออำนวยต่อการเดิน ลุกนั่ง หรืออาจจะเกิดจากสาเหตุดังกล่าวร่วมกัน ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดอาการบาดเจ็บ บาดเจ็บ ไร้ร่อง หรือเสียชีวิตได้

ผลที่ตามมาจากการหกล้มอาจจะทำให้เกิดอาการบาดเจ็บ มีตั้งแต่เล็กน้อย ไปจนถึงรุนแรงถึงขั้นเสียชีวิต ตัวอย่างเช่น การบาดเจ็บที่ศีรษะ (Traumatic Brain Injury) ซึ่งมีความเสี่ยงที่จะเกิดอาการเลือดคั่งในสมองที่สูงขึ้น ผู้สูงวัยมักหกล้มง่ายเนื่องจากระบบประสาทและกล้ามเนื้อทำงานประสานกันไม่ดี มักเดินช้า ตามองไม่ชัด การได้ยินเสียงและความจำไม่ดี รวมทั้งมีอาการเวียนศีรษะจึงพลัดตกหกล้มได้ง่าย (เอกกิตติ์ สุรการ et al., 2564)

การหกล้มในผู้สูงอายุนับว่าเป็นความเสี่ยงที่อาจมีผลกระทบรุนแรง โดยปัจจัยที่เป็นสาเหตุหลักของการหกล้มในผู้สูงอายุ แบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มแรกจะศึกษาการล้มจากปัจจัยภายในร่างกาย (Intrinsic Factor) หมายถึง สภาพาร่างกายหรือการเปลี่ยนแปลงภายในร่างกายที่ทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการหกล้ม เช่น การเปลี่ยนแปลงของร่างกายตามวัย การเปลี่ยนแปลงของร่างกายอันเนื่องมาจากการเจ็บป่วย เป็นต้น และกลุ่มที่สองจะศึกษาการล้มจากปัจจัยภายนอก (Extrinsic factors) หมายถึง สิ่งแวดล้อมรอบตัวของบุคคล ซึ่งอาจเป็นสิ่งแวดล้อมภายในหรือภายนอกบ้าน เช่น พื้นผิวที่ขรุขระ พื้นผิวขัดมัน สิ่งกีดขวางต่างๆ อุปกรณ์ที่ไม่มีความมั่นคง เช่น อุปกรณ์ที่มีน้ำหนักมากและมีล้อเลื่อน เป็นต้น (รชสีดา, 2561) จึงทำให้ความเสี่ยงในการบาดเจ็บ หรือเสียชีวิตที่เกิดจากการหกล้ม ในผู้สูงอายุจะเพิ่มมากขึ้นไปด้วย อีกทั้งในหลาย



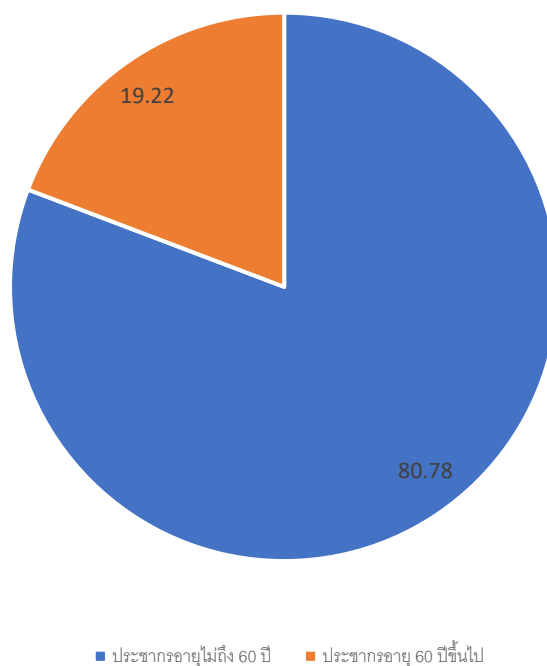
ครัวเรือน อาจจะไม่สามารถจัดการสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมกับการดำเนินชีวิตของผู้สูงอายุ ด้วยเพราะเหตุผลที่เกี่ยวข้องกับด้านเศรษฐกิจ รวมไปถึงการที่สมาชิกในครอบครัวออกไปทำงาน นอกบ้านในช่วงเวลากลางวัน จึงส่งผลให้ผู้สูงอายุต้องอาศัยอยู่ในบ้านเพียงคนเดียวในช่วงเวลาดังกล่าว หากเกิดการหกล้มภายในบ้าน ในตอนกลางวัน ผู้สูงอายุที่ไม่สามารถพยุงตนเองให้ลุกขึ้น อาจจะไม่สามารถติดต่อใครได้ โอกาสในการได้รับการรักษาอย่างทันท่วงทีจะน้อยลง

การป้องกันไม่ให้เกิดการล้มขึ้น สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การติดตั้งราวจับที่ห้องน้ำ เพื่อความสะดวกในการลุกนั่งของผู้สูงอายุ การติดตั้งแผ่นกันลื่นในบ้าน การดูแลรักษาความสะอาดภายในบ้าน ไม่ให้มีของเหลว หรือเศษอาหาร เช่น เปลือกกล้วย ตกค้างอยู่บนพื้น เพื่อป้องกันการเหยียบน้ำหรือเศษอาหารแล้วลื่นล้ม การจัดเก็บอุปกรณ์ที่มีน้ำหนักมากและมีล้อเลื่อนให้อยู่ในที่ที่เหมาะสม เพื่อป้องกันไม่ให้ผู้สูงอายุทิ้งน้ำหนักแขนในการทรงตัวกับอุปกรณ์ดังกล่าว เช่น ตู้ล้อเลื่อน เนื่องจากจะทำให้ไม่สามารถทรงตัวได้และล้ม นอกจากนี้ การดูแลปัจจัยภายในร่างกาย ก็เป็นสิ่งที่สำคัญเช่นเดียวกัน เช่น การดูแลและปฏิบัติตามคำแนะนำของแพทย์อย่างเคร่งครัด เพื่อป้องกันไม่ให้โรคต่างๆ กำเริบ ซึ่งอาจจะนำไปสู่การล้มได้ หรือการจ้างผู้ดูแลเพื่อดูแลผู้สูงอายุอย่างใกล้ชิด ก็เป็นหนึ่งในวิธีที่สามารถป้องกันการล้มในผู้สูงอายุได้

ทั้งนี้ การป้องกันไม่ให้เกิดการล้ม เป็นหนึ่งในปัจจัยการบริหารความเสี่ยงต่อชีวิต ร่างกาย อนามัยของผู้สูงอายุ โดยเฉพาะผู้สูงอายุที่ต้องอยู่เพียงลำพังในช่วงระยะเวลาที่ยาวนาน ดังนั้น การเพิ่มเติมเครื่องมือบริหารความเสี่ยงจากการหกล้ม จึงเป็นทางเลือกที่สนับสนุนความปลอดภัยในชีวิต ร่างกาย และอนามัยของผู้สูงอายุได้ เครื่องมือดังกล่าวคือระบบตรวจจับการล้มที่มีการพัฒนาขึ้นมาอย่างหลากหลาย ซึ่งเครื่องมือตรวจจับการล้มแต่ละชนิดก็มีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน เครื่องมือบางอย่าง เช่น เซ็นเซอร์วัดความเร่ง จะถูกติดตั้งไว้บนร่างกายของผู้สูงอายุ เพื่อคอยตรวจสอบความเร่งที่เปลี่ยนแปลงจากการเคลื่อนไหวร่างกาย ข้อดีคือ เนื่องจากเครื่องมือเหล่านี้ อยู่ติดกับร่างกาย การรับข้อมูลระหว่างการเคลื่อนไหวของร่างกายของผู้สูงอายุจึงมีความเสถียรมากกว่า ไม่จำเป็นต้องคำนึงในส่วนของสิ่งกีดขวางปิดบังการรับข้อมูล ทั้งนี้ ข้อเสียของเครื่องมือประเภทนี้ คือการที่ต้องติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวบนร่างกายตลอดเวลา หากประสงค์ให้มีการจัดเก็บข้อมูลและประมวลผล ซึ่งอาจจะทำให้ผู้สูงอายุเคลื่อนไหวร่างกายไม่สะดวก ดังนั้น เครื่องมือการตรวจจับการล้มอย่างเช่น เครื่องมือที่สามารถใช้กับกล้องวิดีโอที่ติดตั้งในบ้าน เพื่อนำการมองเห็นของคอมพิวเตอร์มาช่วยตรวจจับการล้ม ซึ่งมีข้อดีคือ ผู้สูงอายุไม่จำเป็นต้องติดตั้งเครื่องมือใดๆ บนร่างกาย สามารถเคลื่อนไหวได้ตามธรรมชาติ แต่ข้อเสียคือ ในบางรายอาจจะไม่สะดวกในการ

ใช้กล้องวิดีโอในบ้าน เนื่องจากความต้องการความเป็นส่วนตัว ทั้งนี้ เครื่องมือที่ใช้กับวิธีการนี้  
เหมาะสมกับในบางครอบครัวที่มีการติดตั้งกล้องวิดีโอภายในบ้านอยู่แล้ว

เปรียบเทียบร้อยละประชากรอายุ 60 ปีขึ้นไป และอายุยังไม่ถึง 60 ปี ประเทศไทย ข้อมูล  
ปี 2565



ภาพประกอบ 1 อัตราส่วนประชากรที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไปต่อประชากรทั้งหมด ในประเทศไทย ปี  
2565

จากภาพประกอบ 1 เห็นได้ว่าในปี 2565 อัตราส่วนของผู้สูงอายุ (ประชากรที่มีอายุ 60 ปี  
ขึ้นไป ต่อประชากรทั้งหมดในประเทศไทย ปี 2565) มีมากถึงร้อยละ 19.22 หรือประมาณ  
1 ใน 5 ของจำนวนประชากรทั้งหมด และด้วยเทคโนโลยีทางการแพทย์ที่มีการศึกษาและพัฒนา  
จึงมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนผู้สูงอายุต่อประชากรทั้งหมด ใน  
อนาคต ไม่เพียงแต่การรับมือทางเศรษฐกิจที่เปลี่ยนแปลง และความเสี่ยงการบาดเจ็บทาง  
กายภาพของผู้สูงอายุเท่านั้น แต่ยังมีเรื่องของรับมือกับสภาวะทางจิตใจของสมาชิกใน  
ครอบครัว กับความกังวลที่เกิดขึ้น จากการปล่อยให้ผู้สูงอายุต้องอยู่บ้านเพียงลำพัง

จากการศึกษาของ Carnegie Mellon University ในสาขาวิศวกรรมพบว่า ชาวอเมริกัน  
หลายคนกังวลเกี่ยวกับการที่พ่อแม่วัยชราของพวกเขาอาจล้ม ทุกๆ 13 วินาที ผู้สูงอายุจะถูกส่งตัว

ไปยังห้องฉุกเฉินเพราะล้ม และทุกๆ 20 นาที มีผู้สูงอายุเสียชีวิตจากการบาดเจ็บจากการล้ม ด้วยสถิตินี้ สอดคล้องกับงานวิจัยที่พบว่า 54% ของผู้ใหญ่อเมริกัน 1,900 คนกังวลเกี่ยวกับการที่พ่อแม่วัยชราของพวกเขาจะล้ม จะเห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นของจำนวนผู้สูงอายุ และการเพิ่มขึ้นของความเสี่ยงที่เกิดขึ้นกับผู้สูงอายุ เป็นปัญหาที่ไม่ได้เกิดเฉพาะที่ประเทศไทยเท่านั้น แต่ยังเป็นปัญหาที่ประเทศอื่นๆ มีความกังวลเช่นกัน (University, 2016)

จากปัญหาดังกล่าว จึงทำให้ผู้วิจัย ศึกษาเกี่ยวกับการตรวจจับการล้มและเปรียบเทียบวิธีการตรวจจับการล้ม จากชุดข้อมูลสาธารณะ ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงพัฒนาระบบการตรวจจับการล้มและศึกษาเปรียบเทียบผลลัพธ์ ทั้งแบบ threshold-based และ Machine learning – based เพื่อเป็นประโยชน์และสามารถต่อยอดการศึกษาเรื่องการตรวจจับการล้มได้ในอนาคต และเป็นส่วนเล็กๆ ในการส่งเสริมสังคมผู้สูงอายุที่ปลอดภัย

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการทำงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษา มุมกล้องที่เหมาะสมที่สุดในการตรวจจับการล้มของชุดข้อมูล
- 1.2.2 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบวิธีการตรวจจับการล้มแบบ threshold based และ machine learning based
- 1.2.3 เพื่อศึกษาและทดลอง การตรวจสอบตำแหน่งของกล้องและหลักการเรียนรู้ของเครื่องที่เหมาะสมกับการตรวจสอบการล้มในสภาพแวดล้อมที่กำหนด
- 1.2.4 เพื่อแนะนำหลักการเรียนรู้ของเครื่องที่มีประสิทธิภาพในการตรวจสอบการล้มของมนุษย์ในสภาพแวดล้อมแบบปิด

## 1.3 ขอบเขตของการทำงานวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้ชุดข้อมูลวิดีโอคลิป "Multiple cameras fall dataset" ของ Université de Montréal โดยใช้ชุดข้อมูลวิดีโอคลิป 5 สถานการณ์ และในแต่ละสถานการณ์ จะใช้กล้อง 8 ตัวในการบันทึกการทดลอง ซึ่งกล้องทั้ง 8 ตัว จะถูกติดตั้งไว้ตามมุมต่างๆ ของห้องและใช้ภาพแบบมุมกว้าง

## 1.4 ขั้นตอนของการทำงานวิจัย

- 1.4.1 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจจับการล้มของมนุษย์ ด้วยการนำระบบการมองเห็นของคอมพิวเตอร์มาใช้ในการตรวจจับการล้ม
- 1.4.2 ทำการศึกษาแหล่งข้อมูลของการบันทึกเหตุการณ์ของการล้มในสถานะการต่างๆ และตำแหน่งของกล้องที่ใช้บันทึกหรือตรวจสอบการล้ม

1.4.3 ทำการปรับปรุงข้อมูลนำเข้า การเตรียมข้อมูล และการจัดการกับข้อมูลให้เหมาะสมกับเครื่องมือการวิเคราะห์ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ที่จะใช้ เพื่อให้สามารถนำมาประกอบการทดลอง

1.4.4 ทำการทดลองการตรวจจับเหตุการณ์ของการล้ม ที่เกิดขึ้นจากข้อมูลที่จัดการแล้ว ด้วยการนำความสามารถของการเรียนรู้ของเครื่องมาพัฒนาตรวจจับการล้ม

1.4.5 ประเมินผลการทดลอง และ วิเคราะห์และอภิปรายผลการทดลอง

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1.5.1 สามารถแนะนำตำแหน่งของการติดตั้งกล้องเพื่อตรวจสอบการล้มจากลักษณะของพื้นที่ตรวจจับที่คล้ายกับการทดลองได้

1.5.2 สามารถแนะนำระบบการตรวจจับการล้มเบื้องต้น โดยนำข้อมูลที่มีลักษณะคล้ายวิดีโอคลิปจากกล้อง เข้ามาตรวจสอบกับระบบที่นำเสนอได้

1.5.3 สามารถลดความเสี่ยงของการบาดเจ็บมากขึ้นจากการเกิดอุบัติเหตุหกล้ม โดยการนำไปพัฒนาระบบแจ้งเตือนอย่างทันทีได้

## บทที่ 2

### วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่นำเสนอการตรวจสอบการหกล้มในรูปแบบต่าง มากไปกว่านั้นผู้วิจัยยังศึกษาถึงการนำเทคโนโลยีทางด้านการมองเห็นของคอมพิวเตอร์ (Computer vision) มาใช้เพื่อเพิ่มความรวดเร็วและประสิทธิภาพการตรวจสอบการหกล้มให้กับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งรวมไปถึงการศึกษาถึงหลักการของการเรียนรู้ของเครื่อง หรือที่เรียกกันว่า Machine learning มาใช้ช่วยในการตัดสินใจว่าเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นนั้นเป็นการหกล้มหรือไม่ เพื่อจะเพิ่มความถูกต้องให้กับการวิเคราะห์และตัดสินใจให้กับระบบคอมพิวเตอร์อีกด้วย

#### 2.1 งานวิจัย Research of fall detection and fall prevention technologies: A systematic Review (Ren et al., 2019)

ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งประเภทการตรวจจับการล้มและการป้องกันการล้มออกเป็น 2 แบบหลัก คือ 1.การจัดประเภทโดยขึ้นอยู่กับเครื่องมือการตรวจจับสัญญาณ และ 2.การจัดประเภทโดยขึ้นอยู่กับอัลกอริทึมที่ใช้ในการวิเคราะห์ โดยการจัดประเภทโดยขึ้นอยู่กับเครื่องมือการตรวจจับสัญญาณ สามารถแบ่งออกเป็นประเภทย่อยได้ 4 ประเภท ได้แก่ 1. การตรวจจับการล้มและป้องกันการล้มที่ใช้เซ็นเซอร์วัดการเคลื่อนไหวและทิศทาง 2. การตรวจจับและป้องกันการหกล้มโดยอาศัยบริบท 3. การตรวจจับและป้องกันการล้มที่อาศัยคลื่น RF และ 4. การตรวจจับและป้องกันการหกล้มด้วยเซนเซอร์แบบผสมผสาน ในส่วนของ 2. การจัดประเภทที่ขึ้นอยู่กับอัลกอริทึมที่ใช้ในการวิเคราะห์ จะแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ 1. การตรวจจับและป้องกันการล้มโดยอาศัยการกำหนดเกณฑ์ (Threshold) 2. การตรวจจับและป้องกันการล้มโดยไม่อาศัยการกำหนดเกณฑ์ โดยสำหรับ 1. การตรวจจับและป้องกันการล้มโดยอาศัยการกำหนดเกณฑ์ นั้น การกำหนดค่าเกณฑ์ในอัลกอริทึมจะมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบอย่างมาก ค่าเกณฑ์ที่สูงมากจะทำให้เกิดปัญหาผิดพลาดได้มากขึ้นในกรณีที่เกิดการล้ม ในขณะที่ค่าเกณฑ์ที่ต่ำมากก็จะทำให้เกิดการแจ้งเตือนเท็จขึ้น ในปัจจุบัน วิธีการที่ใช้ค่าเกณฑ์ สามารถแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม: วิธีการที่อาศัยการกำหนดค่าเกณฑ์คงที่ (fixed Threshold) และวิธีการอาศัยการกำหนดค่าเกณฑ์แบบปรับตามสถานการณ์ (adaptive Threshold -based methods) เนื่องจากการใช้วิธีการใช้ค่าเกณฑ์คงที่ (fixed Threshold) ซึ่งมีความซับซ้อนในการคำนวณต่ำ วิธีการที่อาศัยการกำหนดค่าเกณฑ์คงที่ได้รับการนำไปใช้ในการวิจัยที่เกี่ยวกับการตรวจจับและป้องกันการล้มในปัจจุบันอย่างแพร่หลาย อย่างไรก็ตาม วิธีการที่อาศัยการกำหนดค่าเกณฑ์คงที่ มีความสามารถในการระบุการเกิด

เหตุการณ์ที่ต่ำ และมักส่งผลให้เกิดการเตือนเท็จสูง วิธีการตรวจจับและป้องกันการลัดที่ใช้วิธีการใช้ค่าเกณฑ์แบบพลวัตหรือปรับได้ (dynamic หรือ adaptive) ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ไขปัญหาเหล่านี้ โดยเป็นการปรับค่าเกณฑ์ที่เหมาะสมตามข้อมูลที่มี สำหรับ 2. การตรวจจับและป้องกันการลัดโดยไม่อาศัยการกำหนดเกณฑ์ นั้น จะเน้นการใช้อัลกอริทึมที่ซับซ้อนเพื่อแยกแยะหรือทำนายการลัดจากกิจกรรมในชีวิตประจำวัน โดยใช้อัลกอริทึม machine learning หรืออัลกอริทึมกระบวนการสถิติ สำหรับวิธีการที่ใช้ machine learning ในระบบตรวจจับหรือป้องกันการลัด มีอัลกอริทึมที่นิยมใช้ได้แก่ KNN, Support Vector Machine (SVM), Naïve Bayes, Hidden Markov Model (HMM), random forest, fuzzy logic เป็นต้น

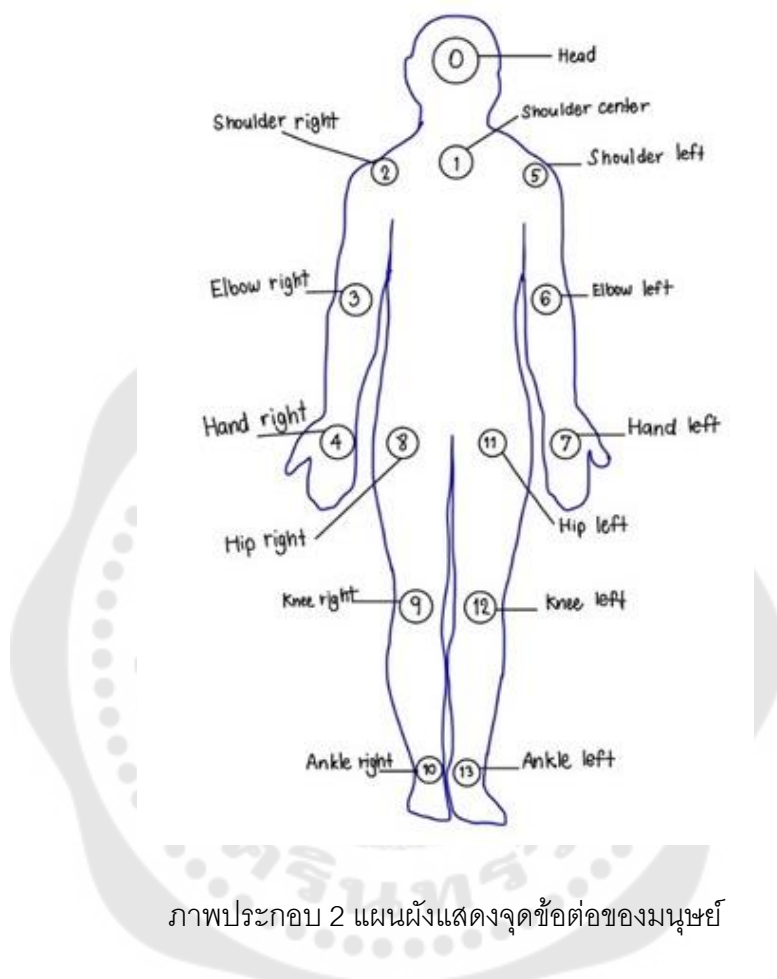
การตรวจจับและป้องกันการลัดโดยอาศัยการกำหนดเกณฑ์ และไม่อาศัยค่าเกณฑ์ มีข้อดีและข้อเสียของตัวเอง เมื่อเทียบกันแล้ว วิธีการที่ใช้ค่าเกณฑ์ มักเป็นอัลกอริทึมที่ง่ายต่อการนำมาใช้ในอุปกรณ์ตรวจจับการลัด อย่างไรก็ตาม ความสามารถในการทำงานของวิธีการนี้ให้ผลลัพธ์ที่น่ามั่นใจได้น้อยกว่าวิธีการไม่อาศัยค่าเกณฑ์ ที่สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่จำเป็นต้องใช้ความสามารถในการคำนวณและหน่วยความจำที่มากกว่า วิธีการใช้ค่าเกณฑ์ โดยทั่วไป ในปัจจุบัน วิธีการผสมผสาน (fusion method) ระหว่างวิธีการใช้ค่าเกณฑ์ และ/หรือวิธีการไม่ใช้ค่าเกณฑ์ ได้รับความนิยมเพื่อเพิ่มความแม่นยำของระบบ

## 2.2 งานวิจัยเรื่อง Fall Detection Based on Key Points of Human-Skeleton Using Pose (Chen et al., 2020)

งานวิจัยนี้นำเสนอเรื่องการตรวจจับการลัดจากพื้นฐานของจุดบนโครงสร้างร่างกายมนุษย์ โดยใช้ OpenPose ที่แก้ไขปัญหาการลัดในผู้สูงอายุ ซึ่งงานวิจัยนี้เสนอหลักการตรวจจับการลัดแบบ Vision-Based โดยนำภาพจากวิดีโอคลิปแต่ละ frame ประกอบการวิเคราะห์และตรวจจับการลัดของมนุษย์ การดำเนินการของงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย 5 ขั้นตอนหลัก ประกอบด้วย

ขั้นตอนที่ 1 คือการใช้ OpenPose ซึ่งเป็นไลบรารีแบบ open-source พัฒนาโดย Carnegie Mellon University (CMU) โดยมีพื้นฐานจากโครงข่ายประสาทเทียมแบบ convolutional (Convolutional Neural Network : CNN) และการเรียนรู้แบบมีผู้สอน supervised learning) และ CAFFE (Convolutional Architecture for Fast Feature Embedding) โดย OpenPose จะใช้ อัลกอริทึมตรวจจับตำแหน่งของจุดสำคัญบนโครงสร้างร่างกายมนุษย์ และใช้ พารามิเตอร์ที่สัมพันธ์กับพีเจเจอร์เวกเตอร์กำหนดแผนที่ตั้งเด่นของข้อต่อที่สำคัญของมนุษย์ OpenPose รับรู้ได้ถึง การเคลื่อนไหวของมนุษย์ การแสดงออกทางสีหน้า การเคลื่อนไหวของนิ้วมือ

และการประมาณการณที่่งทำอื่น ๆ ซึ่งเหมาะกับการตรวจจับบุคคลเดี่ยวและหลายบุคคลในเวลาเดียวกัน



ขั้นตอนที่ 2 ของงานวิจัย จะเป็นการตัดสินใจในเงื่อนไขแรก คือความเร็วเมื่อวัดจากจุดสะโพก งานวิจัยนี้กล่าวว่า ในการล้มแบบฉบับพลัน จุดศูนย์กลางโน้มถ่วงของร่างกายมนุษย์จะเปลี่ยนไปในทิศทางแนวตั้ง ซึ่งจุดกึ่งกลางของสะโพกมนุษย์เป็นจุดแทนของจุดศูนย์กลางโน้มถ่วงของร่างกายมนุษย์และสะท้อนพีเจอร์นีออกมา เนื่องจากช่วงเวลาระหว่างตอนยืนและตอนที่ล้มมีความต่างกันน้อย จึงตรวจจับ 1 ครั้ง ในทุกๆ 5 เฟรม ซึ่งเป็นเวลา 0.25 วินาที จากภาพประกอบที่ 1  $S = \{S_0, S_1, \dots, S_{13}\}$  ซึ่งแทนเซตของตำแหน่งข้อต่อของร่างกาย ในการคำนวณความเร็วเมื่อวัดจากจุดสะโพก จะเริ่มใช้พิกัดของสะโพกทั้ง 2 จุด (ซ้ายและขวา) ซึ่งก็คือจุด  $S_8$  และ  $S_{11}$  และสมมติให้ พิกัด  $y$  ของจุดกึ่งกลางข้อต่อสะโพกมนุษย์ในช่วงเวลา  $t_1$  คือ

$$y_{t_1} = \frac{y_{t_1 8} + y_{t_1 11}}{2}$$



และพิกัด  $y$  ในช่วงเวลา  $t_2$  คือ

$$y_{t_2} = \frac{y_{t_2 8} + y_{t_2 11}}{2}$$

โดยสามารถคำนวณความต่างของเวลาได้ คือ

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

และคำนวณความเร็วได้ดังนี้

$$v = \frac{|y_{t_2} - y_{t_1}|}{\Delta t}$$

เมื่อคำนวณออกมาแล้ว หากความเร็วที่วัดได้จากจุดกึ่งกลางของสะโพกเกินเกณฑ์ความเร็วของการล้มที่กำหนด ซึ่งในงานวิจัยนี้กำหนดไว้ที่ 0.09 เมตร/วินาที จะสามารถตัดสินใจได้ว่า เกิดการล้มขึ้นในเงื่อนไขนี้

ขั้นตอนที่ 3 ของงานวิจัย จะเป็นการตัดสินใจในเงื่อนไขที่สอง นั่นคือการวัดมุมเส้นกึ่งกลางของร่างกายมนุษย์และพื้นดิน เมื่อเกิดการล้มขึ้น พีเจอรี่ที่เด่นชัดที่สุดของร่างกายมนุษย์คือ การเอียงของร่างกาย และองศาการเอียงของร่างกายจะเพิ่มขึ้นต่อเนื่องจนล้ม ในส่วนของเส้นกึ่งกลางของมนุษย์  $L$  จะถูกกำหนดไว้ในงานวิจัยนี้ โดยกำหนดจุดกึ่งกลางระหว่าง  $S_{10}$  และ  $S_{13}$  และเชื่อมต่อดังกล่าวกับจุดข้อต่อ  $S_0$  เส้นที่ลากเพื่อเชื่อมต่อกันคือเส้นกึ่งกลางของมนุษย์ ข้อมูลจุดข้อต่อใน *OpenPose* สำหรับจุด 0, 10 และ 13 ในช่วงเวลาหนึ่งคือ

$$s_0(t) = (x_{t0}, y_{t0}), s_{10}(t) = (x_{t10}, y_{t10})$$

$$\text{และ } s_{13}(t) = (x_{t13}, y_{t13}) \text{ ตามลำดับ}$$

ดังนั้น จุดกึ่งกลางระหว่าง  $S_{10}$  และ  $S_{13}$  จะมีค่าเป็น

$$\bar{s} = \frac{S_{10} + S_{13}}{2}$$

และข้อมูลจุดกึ่งกลางระหว่าง  $S_{10}$  และ  $S_{13}$  ในช่วงเวลาหนึ่งจะเป็น

$$\bar{s}(t) = (\bar{x}_t, \bar{y}_t)$$

ในช่วงเวลา  $t$ , มุมระหว่างเส้นกึ่งกลางของร่างกายมนุษย์และพื้นดินจะได้เป็น

$$\theta_t = \arctan \left| \frac{y_{t0} - \bar{y}_t}{x_{t0} - \bar{x}_t} \right| \text{ เมื่อ } \theta < \theta_0 \text{ โดยที่ค่า } \theta_0 = 45^\circ$$

จะสามารถตัดสินใจได้ว่า เกิดการล้มขึ้นในเงื่อนไขนี้

ขั้นตอนที่ 4 ของงานวิจัย จะเป็นการตัดสินใจในเงื่อนไขที่สาม โดยดูอัตราส่วนระหว่างความกว้างและความสูงของกรอบสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ โดยในงานวิจัยนี้ จะจับพฤติกรรมการล้มผ่านการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนระหว่างความกว้างและความสูงของกรอบสี่เหลี่ยมที่ล้อมรอบ



เป้าหมาย โดยแทนอัตราส่วนดังกล่าวเป็น  $P = \text{Width/Height}$  เมื่อร่างกายของมนุษย์ล้มลง อัตราส่วนของกรอบสี่เหลี่ยมรอบเป้าหมายจะเปลี่ยนตามไปด้วย โดยในงานวิจัยนี้ได้ตั้งเกณฑ์อัตราส่วนไว้ที่ 1 ( $T = 1$ ) เมื่อ  $P \geq T$  จะสามารถตัดสินใจได้ว่า เกิดการล้มขึ้นในเงื่อนไขนี้

ขั้นตอนที่ 5 ของงานวิจัย คือการตัดสินใจว่าผู้ที่ล้มไปแล้วจะสามารถลุกขึ้นมาได้หรือไม่ โดยในงานวิจัยนี้ได้กำหนดไว้ว่า หากบุคคลที่ล้มลงไปแล้วสามารถลุกขึ้นมาได้โดยใช้ระยะเวลาไม่นาน จะไม่มีการแจ้งเตือนใดๆ โดยใช้เกณฑ์การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนระหว่างความกว้างและความสูงของกรอบสี่เหลี่ยมที่ล้อมรอบเป้าหมาย หากอัตราส่วนน้อยกว่า 1 และใช้เกณฑ์วัดมุมระหว่างเส้นกึ่งกลางมนุษย์กับพื้นดินมากกว่า  $45^\circ$  ในช่วงเวลาหนึ่งหลังจากล้มลง จะสามารถสรุปได้ว่าบุคคลนั้นได้ยืนขึ้น งานวิจัยนี้ได้มีการดำเนินการในขั้นตอนที่ 5 เพื่อลดจำนวนการแจ้งเตือนการล้มที่ไม่จำเป็น เนื่องจากการล้มในบางครั้ง ไม่ได้ก่อให้เกิดอาการบาดเจ็บรุนแรงต่อร่างกาย

งานวิจัยนี้ทำการทดสอบความถูกต้องและความแม่นยำด้วยการหา sensitivity specificity และ Accuracy จากการทดลองเคลื่อนไหว 100 ครั้ง ประกอบด้วย การก้ม การนั่งย่อ การเดิน การนั่ง และการล้ม โดยผลของการทดลองที่บทความวิจัยนี้นำเสนอ คือ Sensitivity 98.3% Specificity 95% และ Accuracy 97%

### 2.3 งานวิจัยเรื่อง Application of google media pose estimation using single camera (Zhang, 2022)

งานวิจัยนี้นำเสนอเรื่องการใช้ MediaPipe ในการประมาณการท่าทางโดยใช้กล้อง 1 ตัว โดย Google Media Pipe คือ Machine learning solution ที่สามารถตรวจจับท่าทางจากรูปภาพหรือวิดีโอ MediaPipe Hands และ MediaPipe Face Mesh เป็นเฟรมเวิร์คแบบ open source ที่ประสบความสำเร็จ โดยใช้ Machine learning pipeline ที่ตรวจจับติดตามแบบ 2 ขั้นตอน ประกอบด้วย การระบุตำแหน่งคนด้วยบริเวณที่สนใจ (Region-of-Interest) โดยจะตรวจจับภายในบริเวณนั้น (RoI) ในส่วนของ MediaPipe Pose จะคืนค่าการทำนายท่าทาง 33 จุดบนร่างกายที่สำคัญ และโดยปกติจะใช้ “จุดบนร่างกายที่สำคัญ 0” (“landmark 0”) ซึ่งอยู่ที่บริเวณจมูก เป็นจุดที่ระบุตำแหน่งของคน Google MediaPipe แสดงผลกราฟของ Pose Landmark ด้วยโมดูลย่อย ของ Pose landmark Google MediaPipe Pose ถูกออกแบบมาให้สามารถปรับแต่งตามแต่ละแบบฟอร์มได้ ซึ่งทำให้สามารถใช้ได้ในหลากหลายสถานการณ์ รวมไปถึงการเลือกโหมดภาพนิ่ง, ความซับซ้อนของโมเดล, ความมั่นใจในการตรวจจับขั้นต่ำ และความมั่นใจในการติดตามขั้นต่ำ หากนำเข้าภาพนิ่ง ผู้ใช้สามารถเปิดโหมดภาพนิ่งได้ แต่หากนำเข้าเป็นวิดีโอ ผู้ใช้ก็สามารถปิดโหมดภาพนิ่งได้ ในด้านการตรวจจับขั้นต่ำ และความมั่นใจในการติดตาม

กำหนดความมั่นใจของโมเดลที่จะทำการตรวจจับและติดตามสิ่งที่นำเข้า หากท่วงท่ามีความซับซ้อนสูง ผู้ใช้สามารถตั้งค่าความซับซ้อนของโมเดลที่ “2” และตั้งค่าการตรวจจับขั้นต่ำและความมั่นใจในการติดตามไว้ที่ค่าต่ำลง แต่ก็จะทำให้กระบวนการช้าลง โดยโมเดลจะคืนค่าพิกัดด้วยความกว้าง ความสูงและความลึก และการมองเห็นท่วงท่าที่ถูกตรวจจับจากภาพหรือเฟรมการใช้ MediaPipe Pose estimation ในงานวิจัยนี้ จะจับวิดีโอ นำเข้าโดยใช้ CV2.VideoCapture(address) สำหรับวิดีโอที่มาจากกล้อง โดยปกติแล้วที่อยู่ (address) จะเป็น 0 หากมีกล้องติดอยู่เพียง 1 ตัว หลังจากนั้นจะกำหนดพารามิเตอร์สำหรับการประมวลผล ท่วงท่าบนพื้นฐานความต้องการระดับความแม่นยำของผลลัพธ์ รวมไปถึงการเปิด/ปิด โหมดภาพนิ่ง ความซับซ้อนของโมเดล การตรวจจับขั้นต่ำ และค่าความมั่นใจในการติดตาม จากนั้นโปรแกรมจะอ่านเฟรมของวิดีโอที่ใส่เข้าไประหว่างที่กล้องกำลังทำงานหรือวิดีโอกำลังเล่น และกระบวนการจะเกิดขึ้นเฟรมต่อเฟรมใน MediaPipe เพื่อให้ได้จุดเด่นบนร่างกาย ในส่วนแรกจำเป็นต้องทำให้มีการแสดงผลของกล้องหรือวิดีโอ นำเข้าสำหรับผู้ดูแลและเปรียบเทียบเนื่องจากลำดับของสีแดง-เขียว-ฟ้า จริงๆแล้วอยู่ในลำดับ ฟ้า-เขียว-แดง ดังนั้นเราจึงเรียงลำดับเป็น แดง-เขียว-ฟ้าให้กับภาพที่นำเข้า และเนื่องจากภาพหรือวิดีโอที่นำเข้ายังไม่ได้กลับด้านเพื่อประสบการณ์แสดงผลที่ดียิ่งขึ้น จึงกลับด้านวิดีโอ หลังจากทำการตรวจสอบและประมวลผลเฟรม ด้วยขั้นตอนการประมวลผลก่อนการทำนายเสร็จเรียบร้อยแล้ว ภาพจะถูกส่งเข้าไปในโมเดลเพื่อทำการทำนาย โดยโมเดลจะคืนค่ารายการจุดสำคัญบนร่างกายและการมองเห็นจุดสำคัญเหล่านั้น ซึ่งพร้อมส่งต่อไปยังฟังก์ชันการสกัดพารามิเตอร์ โดยขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้งานที่แตกต่างกัน โปรแกรมจะแสดงผลข้อมูลที่แตกต่างกันบนหน้าจอเพื่อให้ผู้ใช้งานตรวจสอบได้ สุดท้ายโปรแกรมจะทำการปิดวิดีโอและลบหน้าต่างทั้งหมดออกจากระบบ

## 2.4 งานวิจัยเรื่อง Fall Detection Algorithm Based on Inertial Sensor and Hierarchical Decision (Zheng et al., 2023)

งานวิจัยนี้ใช้เซนเซอร์ติดตั้งบริเวณเอวของผู้ทดลองเพื่อเก็บข้อมูลการเคลื่อนไหว และพัฒนาโมเดลตรวจจับการล้มโดยใช้อัลกอริทึม XGBoost ส่วนของข้อมูลความเร็วและความเร็วเชิงมุมของร่างกายของมนุษย์ถูกเก็บรวบรวมโดยเซนเซอร์วัดความเฉื่อย จากลักษณะของพฤติกรรมในชีวิตประจำวันและพฤติกรรมกรล้ม ในงานวิจัยนี้ได้สกัดฟีเจอร์ที่ใช้โดยทั่วกัน 44 ฟีเจอร์ ซึ่งมีจำนวนมาก และจะก่อให้เกิดภาระด้านการคำนวณและการประมวลผล และทำให้ใช้เวลาเทรนโมเดลเพิ่มขึ้น ในงานวิจัยนี้ได้ปรับใช้กลยุทธ์ที่อาศัยการวิเคราะห์ความสำคัญของฟีเจอร์ (FIA) เพื่อลดจำนวนฟีเจอร์จาก 44 มิติเป็น 16 มิติ ซึ่งสามารถลดระยะเวลาในช่วงที่เทรนโมเดลได้

และสามารถปรับปรุง accuracy ของโมเดลได้เล็กน้อย การทดลองเปรียบเทียบระหว่าง การวิเคราะห์ความสำคัญของฟีเจอร์และการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) แสดงให้เห็นถึง ประสิทธิภาพการทำงานที่ดีกว่าของ FIA งานวิจัยนี้ นำแนวคิดของการจัดชั้นมาใช้ในขั้นตอนการ จำแนก โดยใช้วิธีการตั้งเกณฑ์เพื่อจำแนกข้อมูลในระดับแรก แล้วอัลกอริทึม XGBoost เพื่อจัด หมวดหมู่ข้อมูลในระดับสองอย่างแม่นยำ และในท้ายที่สุดจะกำหนดทิศทางการล้มในระดับที่สาม โดยการใช้แนวคิดของการจัดชั้นนี้ ช่วยลดความซับซ้อนและการประมวลผล การใช้ FIA ในการลด จำนวนมิติของฟีเจอร์และการตัดสินใจแบบลำดับขั้นเพื่อระบุการล้ม ค่าความแม่นยำในงานวิจัยนี้ ได้ 98.19% ความไวต่อการตรวจจับ เป็น 97.5% และความสามารถในการระบุว่าไม่ได้เกิดการล้ม (specificity) ได้ถึง 98.63% ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า แบบอัลกอริทึมตรวจสอบการล้มและทิศ ทิศทางการล้มแบบการตัดสินใจแบบขั้นเชิงฮายเออร์คี่ที่เสนอในงานวิจัยนี้สามารถใช้ตรวจจับการล้ม และทิศทางการล้มได้ดี

## 2.5 งานวิจัยเรื่อง Home Camera-Based Fall Detection System for the Elderly (Miguel et al., 2017)

งานวิจัยนี้ นำเสนอเครื่องมือที่ประกอบด้วยคอมพิวเตอร์และกล้อง สำหรับการตรวจจับ การล้มโดยมุ่งเป้าหมายไปยังผู้สูงอายุ ซึ่งสามารถติดกับเพดานเพื่อตรวจจับได้ตลอด 24 ชั่วโมง โดยไม่จำเป็นต้องใส่เครื่องมือหรืออุปกรณ์สวมใส่ใดๆ โดยจะทำการลบพื้นหลังออกจากภาพ ตรวจจับการเคลื่อนไหวและการติดตามวัตถุ การใช้ Kalman filter สำหรับการลด noise และระบบ machine learning ที่จำแนกสถานะของผู้ทดลอง โดยมี 3 ตัวแปร คือ มุมระหว่างแกน x กับ แกน หลัก อนุพันธ์ของอัตราส่วน และความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างและความสูงของสี่เหลี่ยม ล้อมรอบผู้ทดลอง โดยพารามิเตอร์เหล่านี้สามารถแยกพฤติกรรมของผู้ทดลองได้ เช่น การเดิน การ ยืน การนั่ง และการล้ม โดยใช้ K-NN ในการจัดหมวดหมู่สถานะการล้ม/ไม่ล้ม ผลการทดลอง พบว่าอัตราส่วนในการตรวจจับการล้มของเครื่องมือนี้ สูงถึง ร้อยละ 96

## 2.6 งานวิจัยเรื่อง Comparative study on Fall Detection using Machine Learning Approaches (Tongskulroongruang et al., 2022)

งานวิจัยนี้ นำเสนอการทำ feature selection เพื่อลดจำนวนฟีเจอร์ที่มาจาการกลยุทธ โหวต โดยสนใจชุดข้อมูลที่ประกอบไปด้วยสัญญาณต่างๆ จากเครื่องมือ โดยชุดข้อมูลดังกล่าวได้ แบ่งออกเป็น 3 หมวดหมู่ คือ ก่อนล้ม ล้ม และหลังล้ม โดยใช้วิธีการทาง machine learning ที่ หลากหลาย ประกอบไปด้วย SVM KNN Decision tree Neural Network และ Random forest

เวลาในการคำนวณลดลงอย่างมีนัยยะสำคัญเมื่อใช้กลยุทธ์การโหวตในการทำ feature selection สำหรับอัลกอริทึมแบบ classification ซึ่งเวลาลดลงไปกว่า 66.67% สำหรับอัลกอริทึม Decision tree โดยค่า Accuracy ในการทำ classification ด้วย neural network สูงถึง 95.17% ในขณะที่ accuracy ที่ได้หลังจากการทำ feature selection ลดลงไม่เกิน 1.50%

## 2.7 งานวิจัยเรื่อง Using Deep Neural Networks for Human Fall Detection Based on Pose Estimation (Salimi et al., 2022)

งานวิจัยนี้ใช้เทคนิค Computer visions และ Deep learning ในการบ่งชี้เหตุการณ์การล้มและตรวจจับการล้มได้ด้วยค่า Accuracy ที่สูง โดยใช้วิธีการที่ใช้รูปภาพเป็นพื้นฐาน ซึ่งเป็นทางเลือกที่มากกว่าการใส่เครื่องมือติดกับร่างกาย วิธีที่ใช้ งานวิจัยนี้ได้ใช้ Time-Distributed Convolutional Long Short-Term Memory (TD-CNN-LSTM) และ Convolutional Neural Network แบบ 1 มิติ เพื่อแยกประเภทข้อมูลที่สกัดออกมาจากเฟรมภาพ โดยได้ ค่า accuracy ที่สูงถึง 98% สำหรับและ Convolutional Neural Network แบบ 1 มิติ และ 97% สำหรับ Time-Distributed Convolutional Long Short-Term Memory (TD-CNN-LSTM) ดังนั้น การประยุกต์ใช้ Fast Pose Estimation เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการตรวจจับการล้มของมนุษย์ และสามารถเข้ากับเครื่องมือได้ เนื่องจากใช้การคำนวณและหน่วยความจำน้อย

## 2.8 งานวิจัยเรื่อง Video-based Fall Detection for Seniors with Human Pose Estimation (Huang et al., 2018)

งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับการตรวจจับการล้มของผู้สูงอายุ โดยใช้ video-based แทนวิธีการก่อนๆ เช่น การใส่เครื่องมือติดเซนเซอร์ไว้กับร่างกาย หรือการใช้เซ็นเซอร์แวดล้อม ในการตรวจจับการล้มในบ้าน โดยใช้ไปป์ไลน์วิธีการตรวจจับการล้มแบบ 2 มิติ กับการประมวลผลการท่วงท่า โดยจะใช้ Openpose ในการสกัดตำแหน่งของข้อต่อมนุษย์กับข้อมูลดิบ จากนั้นข้อมูลพร้อมกับพีเจอร์ที่เพิ่มเติมแล้วจะกลายเป็น input ให้กับ Convolutional neural network เพื่อให้สามารถสกัดพีเจอร์หลายเลเยอร์ได้ และได้ผล Sensitivity และ Specificity ที่สูง

## 2.9 งานวิจัยเรื่อง Video based automatic fall detection in indoor environment (Vaidehi et al., 2011)

การล้มเป็นสาเหตุหนึ่งที่น่าไปสู่การเสียชีวิตของผู้สูงอายุ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของผู้สูงอายุที่อยู่คนเดียว ทำให้มีแนวโน้มที่จะต้องการการตรวจจับการล้มอัตโนมัติเพิ่มมากขึ้น

งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการตรวจจับการล้มอัตโนมัติสำหรับผู้สูงอายุ โดยใช้วิดีโอ เนื่องจากราคาของกล้องวิดีโอมีราคาถูกลง และความก้าวหน้าของเทคนิคประมวลผลด้วยภาพ จึงได้ศึกษาโดยใช้ static features ในการตรวจจับการล้มโดยการใช้อัตราส่วนของร่างกายมนุษย์ และมุมร่างกาย โดยใช้วิดีโอ เนื่องจากใช้ทรัพยากรการคำนวณที่น้อย โดยใช้ OpenCV เมื่อไม่มีคนอยู่ที่หน้ากล้อง โดยระยะห่างของกล้องจะอยู่ที่ 2 ถึง 8 เมตร จากผู้ทดลอง ทุกพีเจอร์จะถูกรีเซ็ตให้เป็นค่าแรก เมื่อมีคนเดินเข้ามา อัตราส่วนร่างกายมนุษย์และมุมจะถูกคำนวณอย่างต่อเนื่องในทุกๆ วิดีโอเฟรม เมื่อตรวจจับได้จากเงื่อนไขที่ตั้งไว้ ระบบจะยังไม่แจ้งว่าเกิดการล้มขึ้นทันที แต่จะทิ้งช่วงไปเล็กน้อย แล้วจึงแจ้งเตือน เพื่อป้องกันความผิดพลาดเล็กน้อยที่เกิดขึ้น และระบบการตรวจจับการล้มนี้ ยังมีการแจ้งเตือนอีกด้วยว่า บุคคลที่ล้มลงไปสามารถลุกขึ้นมาได้หรือไม่ เพื่อประเมินสถานการณ์ว่าการล้มนั้นรุนแรงหรือไม่ โดยข้อความการแจ้งเตือนการล้มจะหายไปเมื่อผู้ทดลองลุกขึ้นอย่างเต็มตัว ซึ่งผู้ทดลองได้กล่าวถึงผลการทดลองว่า มีความแม่นยำในการตรวจจับการล้มด้านข้าง ล้มด้านหน้า และล้มหงายหลัง

## 2.10 งานวิจัยเรื่อง Multi-Occupancy Fall Detection Using Non-Invasive Thermal Vision Sensor (Zhong et al., 2021)

ในงานวิจัยนี้ ได้ศึกษาเกี่ยวกับการตรวจจับการล้ม วิธีการทั่วไปที่ใช้กล้องวิดีโอในการตรวจจับการล้มถึงแม้จะแม่นยำ แต่ก็มักจะถูกมองว่าถูกล้ำความเป็นส่วนตัว เมื่อใช้ในบ้านพัก วิธีการใช้ภาพความร้อนจึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมกว่าเพราะความเป็นส่วนตัวที่มากขึ้น ทั้งนี้ถึงแม้จะมีการพัฒนาวิธีการใช้ภาพความร้อนในการตรวจจับการล้ม ส่วนใหญ่ยังคงเน้นไปที่สถานการณ์ที่มีผู้อยู่อาศัยคนเดียวซึ่งไม่ตรงกับสถานการณ์จริงที่มักจะมีผู้อยู่หลายคน โดยผู้วิจัยได้พัฒนาวิธีการตรวจจับการล้มที่ใช้ภาพความร้อนสำหรับสถานการณ์ที่มีผู้อยู่หลายคน โดยที่วิธีการนี้สามารถแยกแยะได้ว่าเป็นการล้มหรือไม่ โดยใช้คุณลักษณะของภาพความร้อนที่ได้จาก Convolutional Neural Network (CNN) การทดลองของเราพบว่าวิธีการนี้ให้ความแม่นยำเฉลี่ยสูงสุดถึง 98.39%

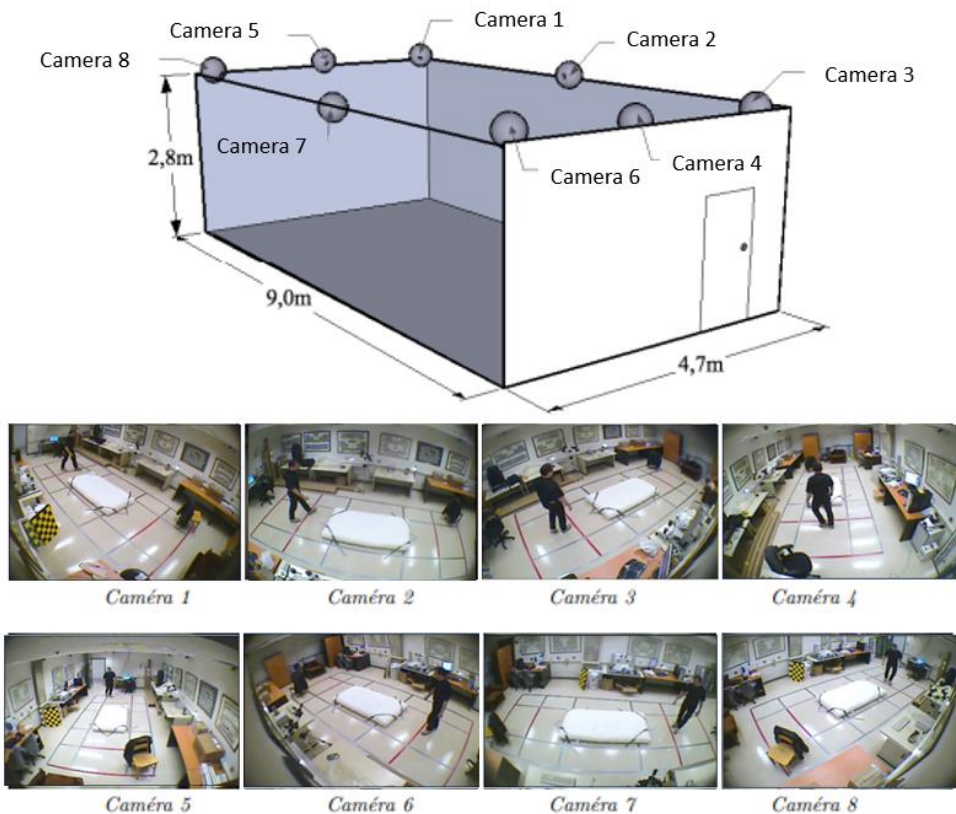


### บทที่ 3

#### กระบวนการ และวิธีการดำเนินการวิจัย

##### 3.1 การได้มาของข้อมูล (Data Acquisition)

ผู้วิจัยจะทำการแบ่งการได้มาของข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน ในส่วนแรกจะเป็นข้อมูลวิดีโอคลิปจาก Multiple cameras fall dataset (E. Auvinet, 2010) และในส่วนที่สอง จะเป็นข้อมูลจากผลการทดลองของส่วนแรก



ภาพประกอบ 3 ตัวอย่างชุดข้อมูลภาพแสดงถึงเหตุการณ์ล้มที่ถูกมองผ่านกล้องทั้ง 8 ตัว ที่ติดตั้งอยู่ในมุมต่างๆของห้อง

##### 3.1.1 ข้อมูลวิดีโอคลิปจาก Multiple cameras fall data set

งานวิจัยนี้ได้ใช้ชุดข้อมูลวิดีโอจาก Multiple cameras fall data set โดยนำข้อมูล 5 สถานการณ์มาศึกษา และใน 1 สถานการณ์ จะใช้กล้อง 8 ตัวในการบันทึกการทดลอง ซึ่งกล้องทั้ง 8 ตัว จะถูกติดตั้งไว้ตามมุมต่างๆ ของห้องและใช้ภาพแบบมุมกว้าง โดยกล้องที่ใช้คือ Gadspot IP camera GS4600 ซึ่งชุดข้อมูลวิดีโอนี้ ทีมผู้วิจัยเจ้าของข้อมูล Multiple cameras fall

data set ได้อธิบายเกี่ยวกับรายละเอียดของชุดข้อมูล ว่าวิดีโอของทีมีวิจัยมีรายละเอียดที่อาจจะ เป็นอุปสรรคต่อการแบ่งแยกข้อผิดพลาด เช่น การบีบอัดวิดีโอซึ่งอาจจะส่งผลต่อภาพวงที่เกิดขึ้น บนภาพเงาและการสะท้อนซึ่งสามารถถูกตรวจจับกลายเป็นวัตถุที่เคลื่อนที่ได้ พื้นหลังที่ไม่เรียบ แสงสว่างที่แตกต่างกันซึ่งต้องพิจารณาในกระบวนการปรับพื้นหลัง วัตถุที่ผู้ทดลองถือเฟอริเนอร์ และอุปกรณ์ที่บังวิสัยทัศน์ การเข้า-ออก พื้นที่ทำท่า เสื้อผ้าที่มีสีและเนื้อผ้าแตกต่างกัน การใส่ และถอดคัท ชุดข้อมูลวิดีโอประกอบด้วยกิจกรรมประจำวันทั่วไปที่จำลองขึ้นและการล้มที่ มองเห็นได้จากกล้องทุกตัวและกระทำโดยผู้ทดลอง 1 คน โดยกิจกรรมประจำวันทั่วไป เช่น การ เดินไปในทิศทางที่แตกต่างกัน กิจกรรมที่ใกล้เคียงกับการล้ม เช่น การนั่ง ยืน การทิ้งตัว การล้มที่ จำลองขึ้น เช่น ล้มไปข้างหน้า ล้มหายใจหลัง ล้มเมื่อนั่งผิดท่า ขาดสมดุล ซึ่งการล้มจำลองที่เกิดขึ้น จะเกิดในหลากหลายทิศทาง โดยผู้ทดลองจะล้มลงบนพุกที่ตั้งอยู่กลางห้องทดลอง

### 3.1.2 ข้อมูลจากผลการทดลองของส่วนแรก

เมื่อทำการทดลองแล้ว ผู้วิจัยงานวิจัยนี้ จะนำข้อมูลที่ได้มาระบุหมวดหมู่ที่ถูกต้อง ของข้อมูล โดยจะเป็นหมวดหมู่ของการ “ล้ม” และ “ไม่ล้ม” ซึ่งแทนที่ด้วย 1 และ 0 และจัดเก็บใน รูปแบบไฟล์ csv

## 3.2 การเตรียมข้อมูล (Data Preparation)

การเตรียมข้อมูลจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ในส่วนแรกจะเป็นการเตรียมข้อมูลวิดีโอคลิป และในส่วนที่ 2 จะเป็นการเตรียมข้อมูลจากไฟล์ csv ซึ่งเป็นข้อมูลผลการทดลองจากข้อมูลวิดีโอ คลิป

### 3.2.1 การเตรียมข้อมูลวิดีโอคลิป

3.2.1.1 ใช้ฟังก์ชัน VideoCapture() ของ OpenCV เพื่ออ่านไฟล์วิดีโอจากการ ระบุตำแหน่งไฟล์วิดีโอที่ต้องการอ่านเข้ามาเป็นพารามิเตอร์ในวงเล็บ และกำหนดให้เก็บไว้ในตัว แปร 'cap'

3.2.1.2 กำหนดให้ pose เป็นตัวแปรที่อ้างอิงถึง object ที่ถูกสร้างจากคลาส Pose

3.2.1.3 อ่านแต่ละเฟรมของวิดีโอด้วยฟังก์ชัน 'cap.read()' และเก็บภาพที่อ่าน ได้ไว้ในตัวแปร 'frame'

3.2.1.4 ปรับขนาดของ 'frame' เป็น 640 x 480 ด้วยฟังก์ชัน 'cv2.resize()' ของ OpenCV เพื่อให้วิดีโอมีขนาดเล็ก และไม่ใช้หน่วยความจำมากเกินไป

3.2.1.5 แปลงพื้นที่สีของ 'frame' จาก BGR เป็น RGB เนื่องจาก OpenCV ใช้ระบบสีแบบ BGR ทั้งนี้ในงานวิจัยนี้ใช้ MediaPipe ในการประมาณการท่าทาง จึงเปลี่ยนลำดับสี เป็น RGB เพื่อให้สามารถประมวลผลด้วย MediaPipe ได้

3.2.1.6 กำหนดให้ 'image.flags.writeable = False' เพื่อลดการใช้หน่วยความจำในการประมวลผล เนื่องจากยังไม่จำเป็นต้องเขียนข้อมูลใดๆ ลงไป

3.2.1.7 ส่ง 'image' ไปยัง method 'process()' ของ class Pose ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ MediaPipe framework เพื่อตรวจจับและติดตามร่างกายในภาพ

3.2.1.8 กำหนดให้ 'image.flags.writeable = True' เพื่อให้สามารถเขียนค่าลงไปได้

3.2.1.9 แปลงพื้นที่สีของ 'image' กลับเป็น BGR ด้วยฟังก์ชัน 'cv2.cvtColor()' เพื่อให้ OpenCV สามารถอ่านไฟล์สีได้ตามปกติ

3.2.1.10 กำหนดสถานะ (status) เริ่มต้น เมื่อยังไม่ได้มีการตรวจจับร่างกายในวิดีโอ เป็น “Not Detected”

### 3.2.2 การเตรียมข้อมูลจากไฟล์ csv

3.2.2.1 หลังจากทราบค่าประเมินผลจากการทดลองแรกแล้ว นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองแรก ปรับปรุงหมวดหมู่ว่าล้ม/ไม่ล้ม ให้ถูกต้องในแต่ละเฟรม และรวมข้อมูลดังกล่าวจาก 5 สถานการณ์ 8 มุมกล้องให้เป็นชุดข้อมูลเดียว

3.2.2.2 ตัดคอลัมน์และค่าว่างออก

3.2.2.3 กำหนดคอลัมน์สำหรับใช้เป็นตัวแปร X และ Y

## 3.3 การกำหนดวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล (Data analysis method)

การกำหนดวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การวิเคราะห์ข้อมูลวิดีโอคลิป โดยใช้วิธีการแบบ threshold based และ การวิเคราะห์ข้อมูลจากไฟล์ csv โดยใช้ machine learning

3.3.1 การวิเคราะห์ข้อมูลวิดีโอคลิป โดยใช้วิธีการแบบ threshold based ในการตรวจจับการล้มของงานวิจัยนี้ ใช้อัตราส่วนของขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม และการเปลี่ยนแปลงองศาของร่างกายเมื่อล้ม โดยมีรายละเอียดดังนี้



3.3.1.1 การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม

(1) เขียนฟังก์ชันเพื่อให้ได้ขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) โดยกำหนดจุด landmarks ที่จับได้จากร่างกายเป็นขอบเขตของสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ ซึ่ง landmarks ที่ไม่ได้ใช้ประกอบการสร้างขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) ได้แก่ จุดที่ 13 – 22 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ จุดที่ 13 ข้อศอกซ้าย จุดที่ 14 ข้อศอกขวา จุดที่ 15 ข้อมือซ้าย จุดที่ 16 ข้อมือขวา จุดที่ 17 นิ้วก้อยซ้าย จุดที่ 18 นิ้วก้อยขวา จุดที่ 19 นิ้วชี้ซ้าย จุดที่ 20 นิ้วชี้ขวา จุดที่ 21 นิ้วโป้งซ้าย จุดที่ 22 นิ้วโป้งขวา เพื่อลดความคลาดเคลื่อนของอัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เมื่อมีการยกแขนหรือกางแขน โดยมีรายละเอียดเพิ่มเติมดังนี้

(i) สร้างตัวแปร  $x\_coords$  และ  $y\_coords$  เพื่อเก็บข้อมูลพิกัด  $x$  และ  $y$  ของ landmarks ที่แต่ละส่วนของร่างกาย ที่ได้กำหนดไว้ใน 3.3.1.1

(ii) กำหนดตัวแปรเพื่อเก็บพิกัดของ landmarks ที่มีค่ามากที่สุด และค่าน้อยที่สุดของแต่ละแกน ( $x\_min$ ,  $x\_max$ ,  $y\_min$ ,  $y\_max$ ) เพื่อนำมาประกอบการกำหนดความกว้างและความสูงของขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) โดยความกว้างจะเท่ากับพิกัด  $x$  ที่มากที่สุด ลบพิกัด  $x$  ที่น้อยที่สุด และความสูงจะเท่ากับ พิกัด  $y$  ที่มากที่สุด ลบพิกัด  $y$  ที่น้อยที่สุด โดยสามารถแทนด้วยสมการ

$$width = x\_max - x\_min \text{ และ } height = y\_max - y\_min$$

(2) เมื่อได้ความกว้างและความสูงของขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) ขั้นตอนต่อไปคือการเขียนฟังก์ชัน เพื่อหาอัตราส่วนของขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มของมนุษย์

(3) เขียนฟังก์ชันเพื่อวาดขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) ลงบนวิดีโอที่จะใส่เข้าไป เพื่อให้สามารถสังเกตระหว่างการวิจัยได้

(4) กำหนดเกณฑ์อัตราส่วนของขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) ที่ถูกตัดสินว่าเกิดการล้มขึ้น ให้เท่ากับ 1 โดยคำนวณจาก ความกว้างของขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) หารด้วย ความสูงของขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) หรือสามารถแทนด้วยสมการ

$$Ratio = \frac{width}{height}$$



ภาพประกอบ 4 การตรวจจับการล้มด้วยอัตราส่วนของขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์  
(Bounding box)

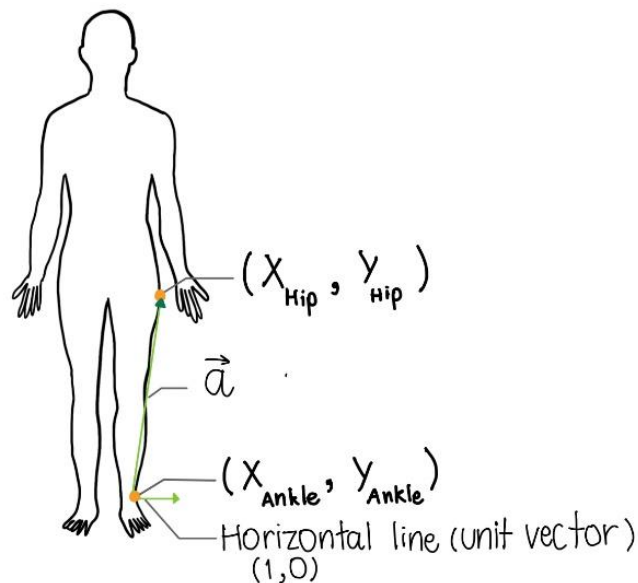
3.3.1.2 การตรวจจับการล้มโดยใช้การเปลี่ยนแปลงองศาของร่างกาย  
(มุมสะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม

(1) เขียนฟังก์ชันเพื่อคำนวณมุมจากจุดที่กำหนด โดยใช้มุมจากจุดสะโพก  
ข้อเท้า และเส้นพื้นดิน โดยมีรายละเอียดเพิ่มเติมดังนี้

(i) คำนวณเวกเตอร์จากข้อเท้าไปยังสะโพก โดยให้พิกัด  $x$  ของข้อเท้า ลบ  
กับพิกัด  $x$  ของสะโพก และให้พิกัด  $y$  ของข้อเท้า ลบกับพิกัด  $y$  ของสะโพก โดยสามารถแทนด้วย  
สมการดังนี้

$$\vec{a} = (x_{hip} - x_{ankle}), (y_{hip} - y_{ankle})$$

โดยกำหนดให้เวกเตอร์จากข้อเท้าไปยังสะโพก ถูกแทนค่าด้วย  $\vec{a}$



ภาพประกอบ 5 ภาพประกอบการคำนวณเวกเตอร์จากข้อเท้าไปยังสะโพก

(ii) คำนวณ dot product เพื่อนำค่าที่ได้มาประกอบการคำนวณเพื่อหามุมระหว่างเวกเตอร์สะโพก-ข้อเท้า และ เส้นพื้นดิน โดยสามารถแทนด้วยสมการดังนี้

$$\vec{a} \cdot \hat{i} = ((x_{hip} - x_{ankle}) \times 1) + ((y_{hip} - y_{ankle}) \times 0)$$

โดยเส้นพื้นดินเป็น unit vector (1,0) แทนค่าด้วย  $\hat{i}$

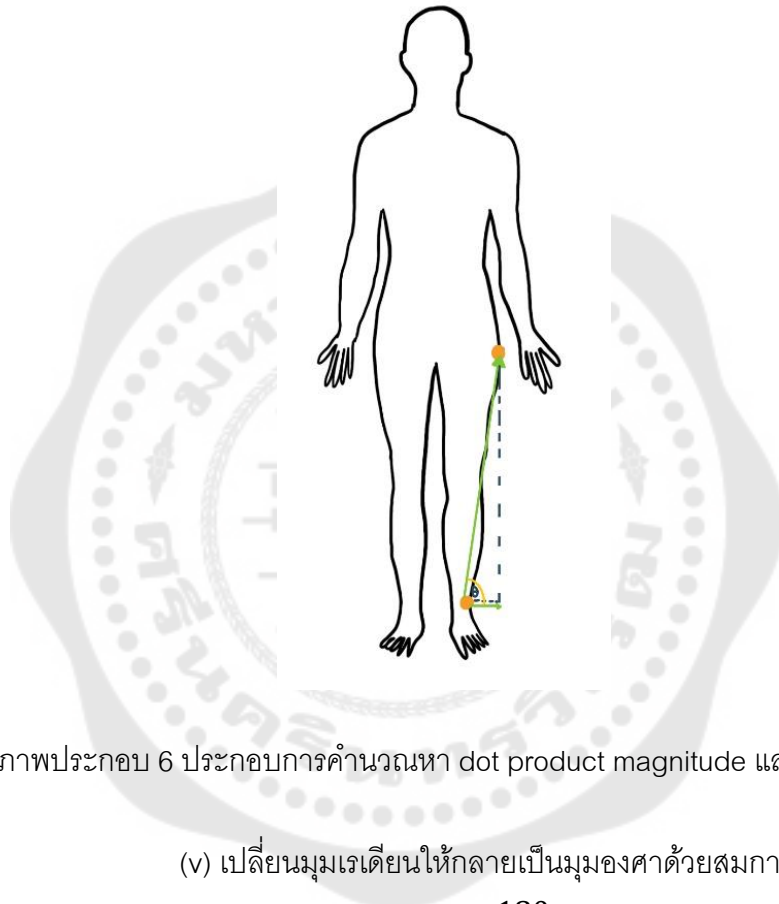
(iii) คำนวณ magnitude ของ hip-ankle vector เพื่อนำค่าที่ได้มาประกอบการคำนวณเพื่อหามุมระหว่างเวกเตอร์สะโพก-ข้อเท้า และ เส้นพื้นดิน โดยสามารถแทนด้วยสมการดังนี้

$$|\vec{a}| = \sqrt{(x_{hip} - x_{ankle})^2 + (y_{hip} - y_{ankle})^2}$$

โดย magnitude ของเส้นพื้นดินมีค่าเป็น 1

หาค่า cosine ของมุมระหว่างเวกเตอร์สะโพก-ข้อเท้า และ เส้นพื้นดิน โดยจำกัดค่า cosine ให้อยู่ในระหว่าง -1 ถึง 1 เพื่อป้องกันการบิดเศษจากการคำนวณ โดยสามารถแทนด้วยสมการดังนี้

$$\cos\theta = \frac{\vec{a} \cdot \hat{i}}{|\vec{a}|}$$



ภาพประกอบ 6 ประกอบการคำนวณหา dot product magnitude และ cosine

(v) เปลี่ยนมุมเรเดียนให้กลายเป็นมุมองศาด้วยสมการ

$$\text{มุมองศา} = \frac{180}{\pi} \times \text{มุมเรเดียน}$$

(2) กำหนดเกณฑ์ตัดสินกำหนดการล้ม โดยใช้มุมที่ได้จากการคำนวณของ ทั้งสะโพกและข้อเท้าทั้งด้านซ้ายและด้านขวา โดยหากมุมที่ได้จากการคำนวณจากสะโพกและข้อเท้าด้านซ้าย หรือ สะโพกและข้อเท้าด้านขวา มีขนาดมากกว่า 120 องศา หรือน้อยกว่า 60 องศา จะถือว่าเกิดการล้มขึ้น



ภาพประกอบ 7 การตรวจจับการล้มโดยใช้การเปลี่ยนแปลงองศาของร่างกาย  
(มุมสะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน)

### 3.3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลจากไฟล์ csv

3.3.2.1 การใช้ Random forest เพื่อวิเคราะห์การตรวจจับการล้ม โดยจะนำค่าที่ได้จากการตรวจจับการล้มจากอัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) และ การเปลี่ยนแปลงองศาของร่างกาย (มุมสะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) ที่ปรับให้คอล้มมีผลลัพธ์มีหมวดหมู่ที่ถูกต้องตามเกณฑ์ที่กำหนด นำมาให้โมเดลเรียนรู้และทดสอบ

3.3.2.2 การใช้ K-NN เพื่อวิเคราะห์การตรวจจับการล้ม โดยจะนำค่าที่ได้จากการตรวจจับการล้มจาก 3.3.1.1 และ 3.3.1.2 ที่ปรับให้คอล้มมีผลลัพธ์มีค่าที่ถูกต้องตามเกณฑ์ที่กำหนด นำมาให้โมเดลเรียนรู้และทดสอบ

### 3.4 การประเมินผล (Evaluation)

ประเมินผลจากการบันทึกผลการตรวจจับการล้ม โดยบันทึกจากวิดีโอนำเข้า 40 คลิป และหาร้อยละจำนวนเฟรมที่มีเดียไปป์สามารถจับผู้ทดลองได้ต่อจำนวนเฟรมทั้งหมดที่ผู้ทดลองปรากฏ และค่า Accuracy Recall Precision และ F-1 score เพื่อประเมินประสิทธิภาพของ



วิธีการที่กำหนดและประสิทธิภาพของมูมที่กลัองติดตั้งในห้องที่ปรากฏในชุดข้อมูลทั้ง 8 มูม และเปรียบเทียบ Accuracy Recall Precision และ F-1 score ของ 4 วิธีการ โดยค่า accuracy คำนวณโดย แทนค่า

จำนวนเฟรมที่ ความเป็นจริงและการทำนายคือ 'ล้ม' เป็น True Positive (TP)

จำนวนเฟรมที่ ความเป็นจริงและการทำนายคือ 'ไม่ล้ม' เป็น True Negative (TN)

จำนวนเฟรมที่ ความเป็นจริง คือ 'ไม่ล้ม' แต่การทำนายคือ 'ล้ม' เป็น False Positive (FP)

จำนวนเฟรมที่ ความเป็นจริง คือ 'ล้ม' แต่การทำนายคือ 'ไม่ล้ม' เป็น False Negative (FN)

การคำนวณ ค่า accuracy คำนวณโดย

$$\frac{(TP + TN)}{(TP + TN + FP + FN)}$$

การคำนวณ ค่า recall คำนวณโดย

$$\frac{TP}{TP + FN}$$

การคำนวณ ค่า Precision คำนวณโดย

$$\frac{TP}{TP + FP}$$

การคำนวณ ค่า F1 – score คำนวณโดย

$$\frac{2 \times (\text{recall} \times \text{precision})}{(\text{recall} + \text{precision})}$$

3.4.1 การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม

3.4.2 การตรวจจับการล้มโดยใช้การเปลี่ยนแปลงองศาของร่างกายเป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม

3.4.3 การใช้ Random forest ซึ่งก็คือ อัลกอริทึมใน Machine Learning ที่ใช้ต้นไม้ตัดสินใจ (decision tree) หลายๆ ต้น ทำงานร่วมกัน ต้นไม้แต่ละต้น เรียนรู้จากข้อมูลที่แตกต่างกัน จากชุดข้อมูลที่กำหนด และทำนายออกมา ผลการทำนายที่ได้จากต้นไม้แต่ละต้นจะถูกนำมาโหวต คลาสที่ได้รับการโหวตมากที่สุดจะเป็นผลลัพธ์ ใช้ได้ทั้งกับงาน classification และ regression

3.4.4 การใช้ K-NN เพื่อวิเคราะห์การตรวจจับการล้ม ซึ่ง K-NN เป็นอัลกอริทึมใน machine learning ไว้จัดกลุ่มข้อมูล โดยผู้ใช้จะต้องกำหนดค่า K หรือจำนวนข้อมูลที่ใกล้เคียงมากที่สุดกับข้อมูลที่จะทำนาย เพื่อให้รู้ว่าข้อมูลจำนวน K ที่ใกล้กับข้อมูลที่ต้องการทำนาย ส่วนใหญ่อยู่ในคลาสใด แล้วจึงทำนายข้อมูลเป้าหมาย



## บทที่ 4

### การทดลองและผลลัพธ์ของงานวิจัย

4.1 ผลการทดลอง จากการตรวจจับการล้มโดยวิธีการใช้อัตราส่วนของขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม และการเปลี่ยนแปลงองศาของร่างกายเมื่อล้ม (มุมสะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน)

#### 4.1.1 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 1

สถานการณ์นี้ เป็นสถานการณ์ที่ผู้ทดลอง เดินเข้ามาจากประตูทางเข้า หยุดยืนอยู่ที่หน้าเก้าอี้เพื่อหยิบเสื้อคลุมและสวมใส่ ขณะที่กำลังจะสวมใส่เสื้อคลุม ผู้ทดลองได้ล้มหายหลังไปบนพุก หลังจากนั้นจึงลุกขึ้นยืน หันก้มเก็บสิ่งของ และลุกขึ้นยืนอีกครั้งหนึ่ง

##### 4.1.1.1 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 1 กล้องที่ 1

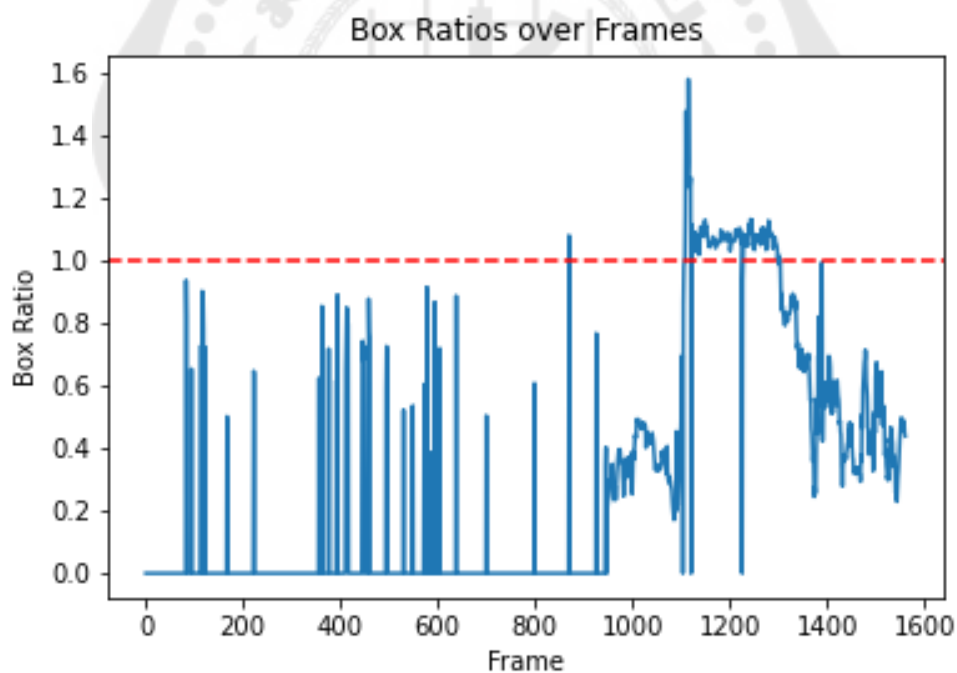


ภาพประกอบ 8 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 1 กล้องที่ 1

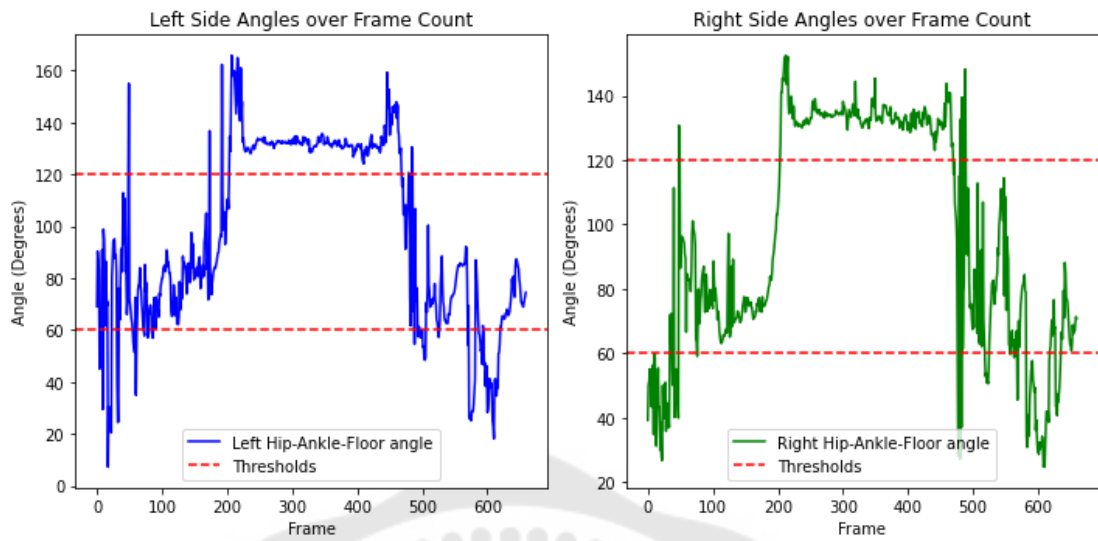


ตาราง 1 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 1 ครั้งที่ 1

| วิธีการตรวจจับการล้ม  | ร้อยละจำนวนเฟรมที่มีเค้ไปป์สามารถจับผู้ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|---|---|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box)         | 84.22   | 0.80     | 0.62   | 1         | 0.76     |
| การเปลี่ยนแปลงองศาของร่างกายเมื่อล้ม (มุมสะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) | 84.22   | 0.82     | 0.93   | 0.76      | 0.84     |



ภาพประกอบ 9 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนของขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 1 ครั้งที่ 1 หมายเลข 1



ภาพประกอบ 10 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์

ที่ 1 กล้องที่ 1

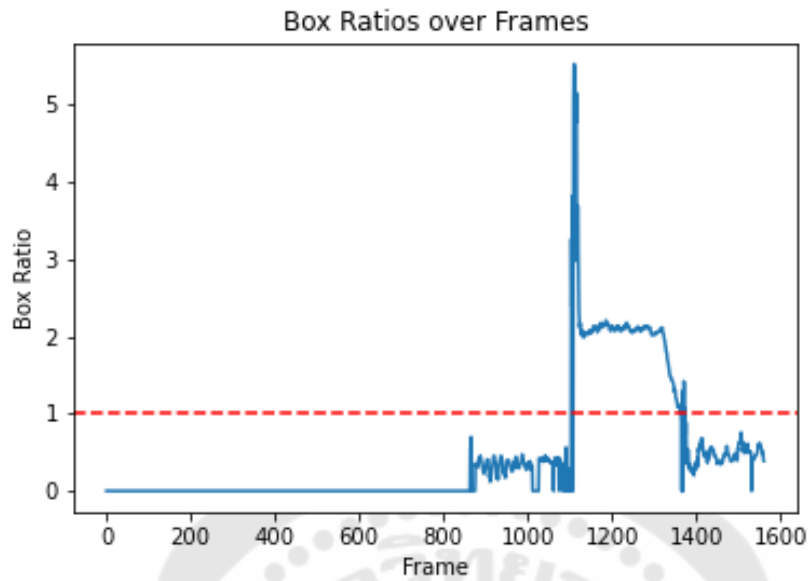
## 4.1.1.2 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 1 กล้องที่ 2



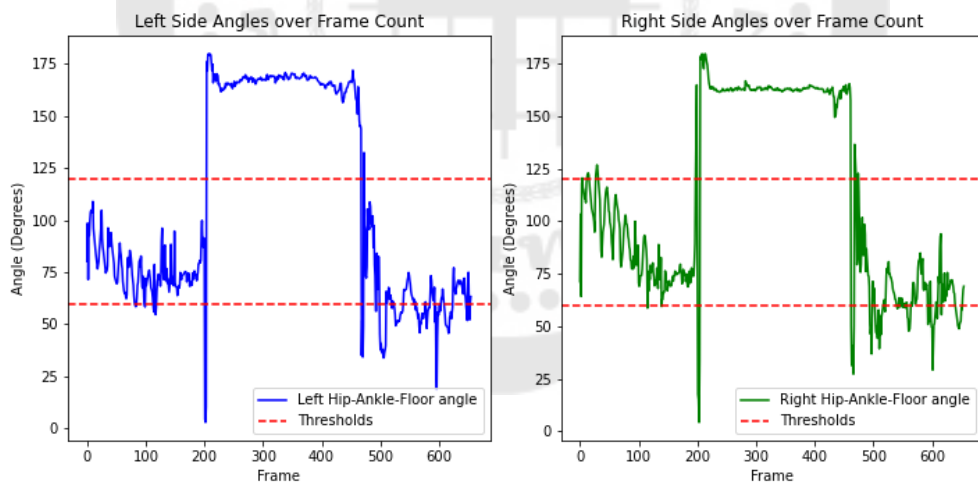
ภาพประกอบ 11 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 1 กล้องที่ 2

ตาราง 2 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 1 กล้องที่ 2

| วิธีการตรวจจับการล้ม   | ร้อยละจำนวนเฟรมที่มีเค้ไปป์สามารถจับผู้ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|--|---|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box)            | 95.04   | 0.93     | 0.85   | 1         | 0.92     |
| การเปลี่ยนแปลงองศามุมของร่างกายเมื่อล้ม (มุมสะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) | 95.04   | 0.78     | 0.94   | 0.70      | 0.80     |



ภาพประกอบ 12 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 1 กล้องหมายเลข 2



ภาพประกอบ 13 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 1

กล้องที่ 2

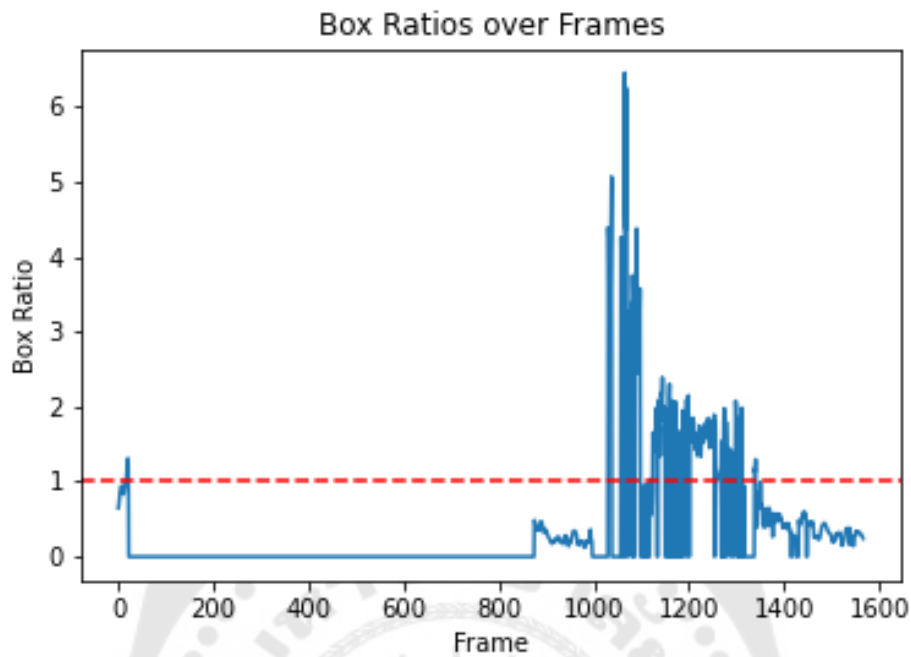
## 4.1.1.3 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 1 กล้องที่ 3



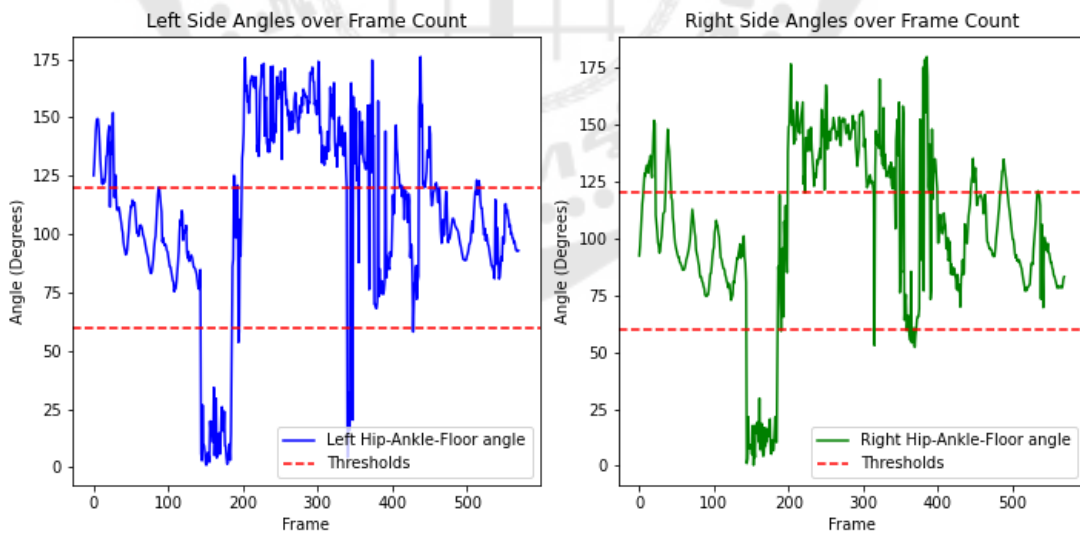
ภาพประกอบ 14 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 1 กล้องที่ 3

ตาราง 3 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 1 กล้องที่ 3

| วิธีการตรวจจับการล้ม  | ร้อยละจำนวน<br>เฟรมที่มีเค้ไปป์<br>สามารถจับผู้<br>ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|---|---|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขต<br>สี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์<br>(Bounding box)              | 78.62   | 0.76     | 0.64   | 0.79      | 0.71     |
| การเปลี่ยนแปลงองศาหมุน<br>ของร่างกายเมื่อล้ม (มุม<br>สะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) | 78.62   | 0.77     | 0.86   | 0.70      | 0.77     |



ภาพประกอบ 15 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 1 กล้องหมายเลข 3



ภาพประกอบ 16 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 1

กล้องที่ 3



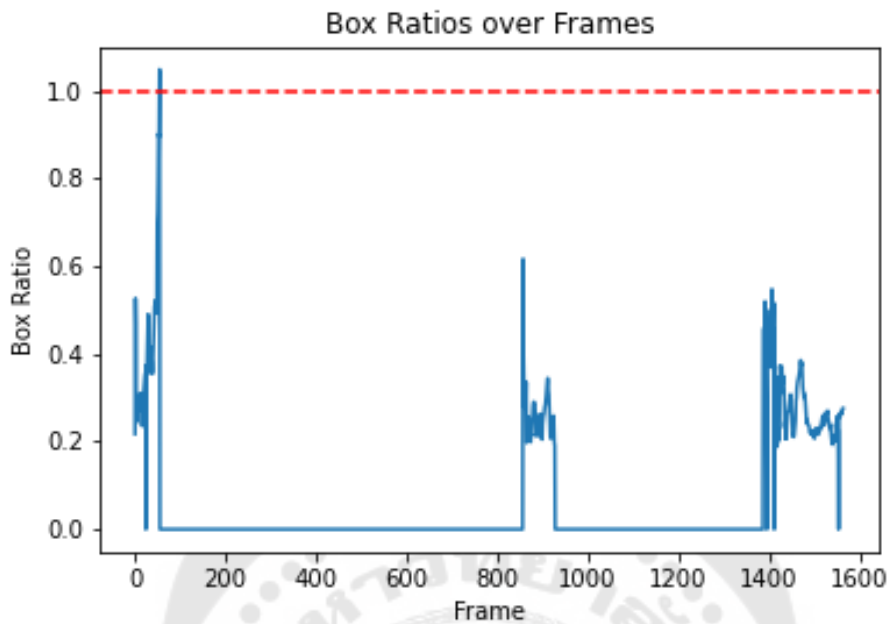
## 4.1.1.4 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 1 กล้องที่ 4



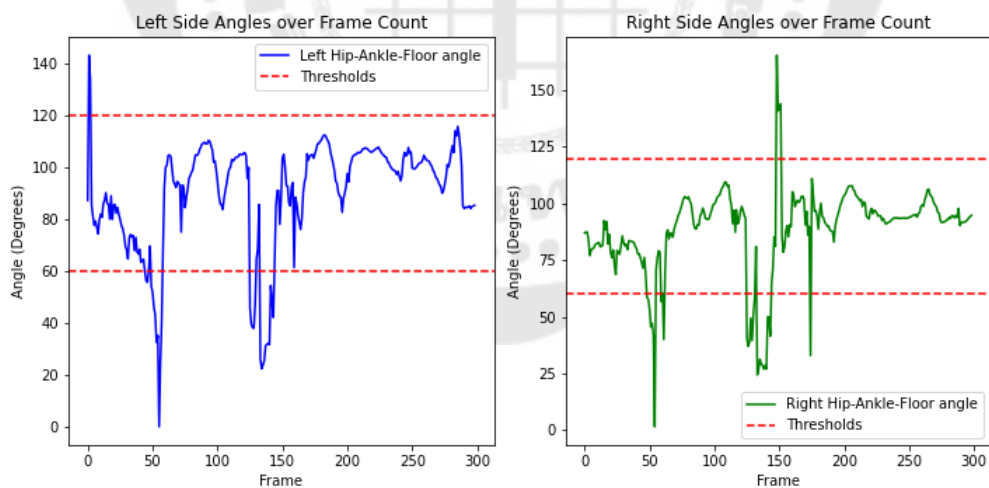
ภาพประกอบ 17 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 1 กล้องที่ 4

ตาราง 4 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 1 กล้องที่ 4

| วิธีการตรวจจับการล้ม  | ร้อยละจำนวน<br>เฟรมที่มีเค้ไปป์<br>สามารถจับผู้<br>ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|---|---|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขต<br>สี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์<br>(Bounding box)              | 34  | 0.88     | 0.00   | N/A       | N/A      |
| การเปลี่ยนแปลงองศาหมุน<br>ของร่างกายเมื่อล้ม (มุม<br>สะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) | 34  | 0.96     | 0.76   | 0.92      | 0.83     |



ภาพประกอบ 18 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 1 กล้องหมายเลข 4



ภาพประกอบ 19 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 1 กล้องที่ 4



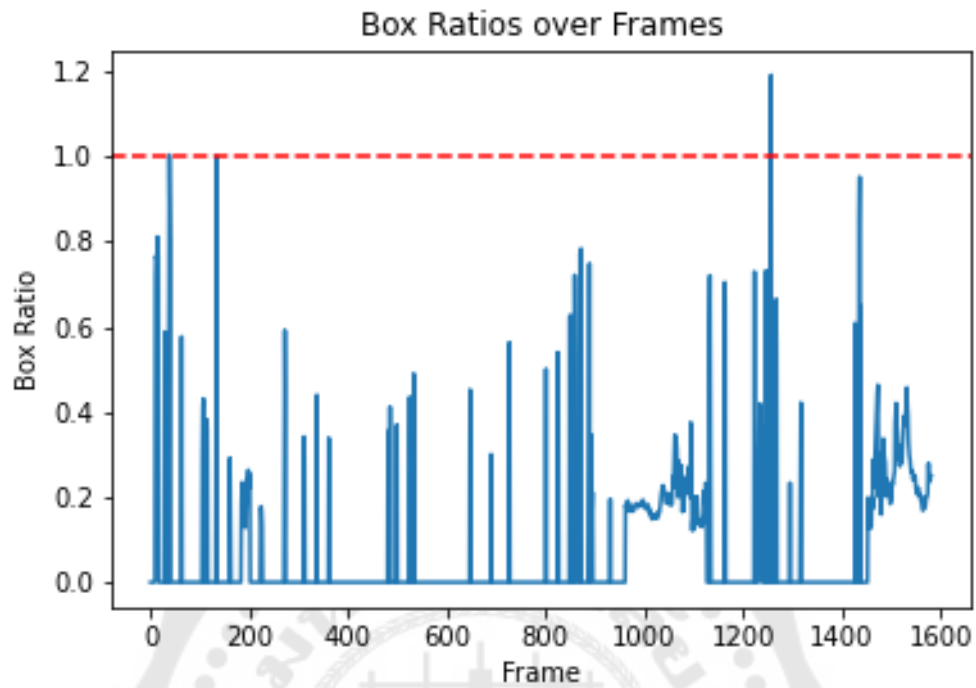
## 4.1.1.5 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 1 กล้องที่ 5



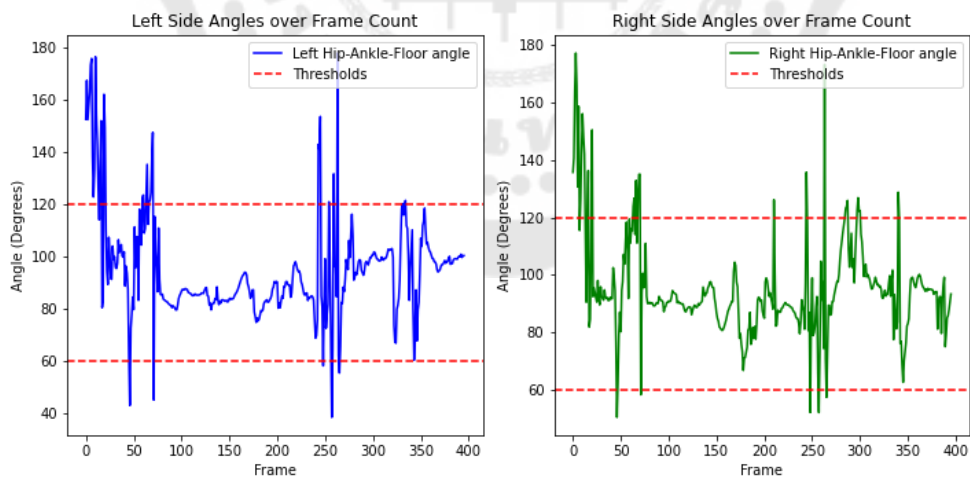
ภาพประกอบ 20 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 1 กล้องที่ 5

ตาราง 5 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 1 กล้องที่ 5

| วิธีการตรวจจับการล้ม   | ร้อยละจำนวน<br>เฟรมที่มีเคย์ไปป์<br>สามารถจับผู้<br>ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|--|--|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขต<br>สี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์<br>(Bounding box)             | 44.02  | 0.62     | 0.01   | 1         | 0.02     |
| การเปลี่ยนแปลงองศามุม<br>ของร่างกายเมื่อล้ม (มุม<br>สะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) | 44.02  | 0.59     | 0.08   | 0.36      | 0.13     |



ภาพประกอบ 21 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 1 กล้องหมายเลข 5



ภาพประกอบ 22 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 1

กล้องที่ 5

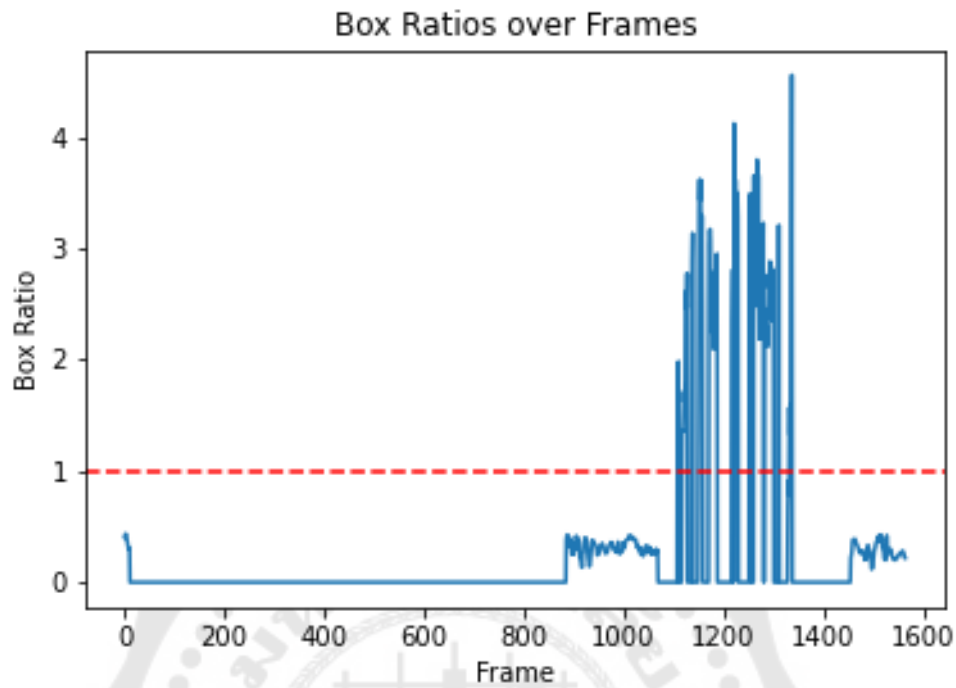
## 4.1.1.6 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 1 กล้องที่ 6



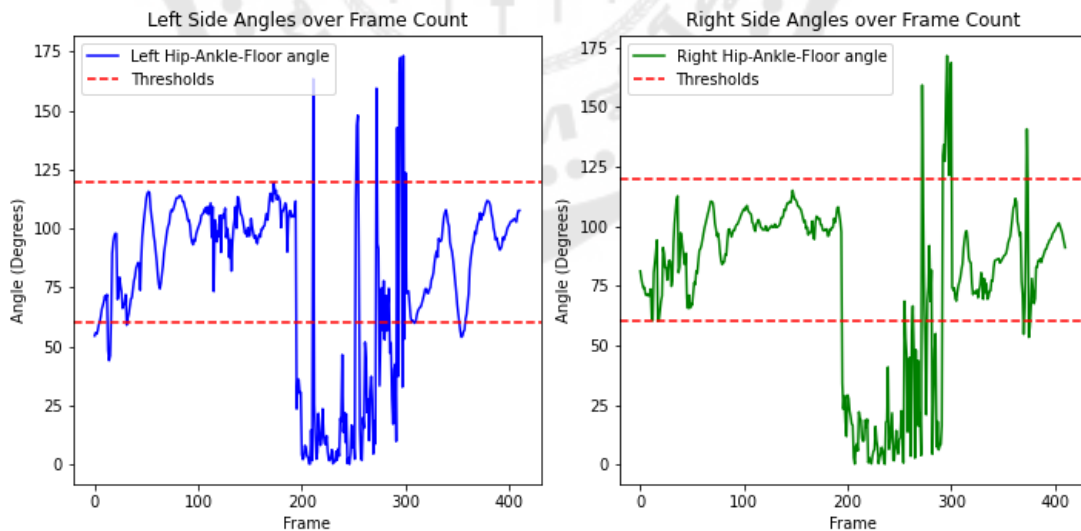
ภาพประกอบ 23 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 1 กล้องที่ 6

ตาราง 6 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 1 กล้องที่ 6

| วิธีการตรวจจับการล้ม   | ร้อยละจำนวนเฟรมที่มีเค้ไปป์สามารถจับผู้ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|--|---|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box)            | 58.57   | 0.83     | 0.60   | 1         | 0.75     |
| การเปลี่ยนแปลงองศามุมของร่างกายเมื่อล้ม (มุมสะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) | 58.57   | 0.79     | 0.58   | 0.87      | 0.70     |



ภาพประกอบ 24 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 1 กล้องหมายเลข 6



ภาพประกอบ 25 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 1

กล้องที่ 6



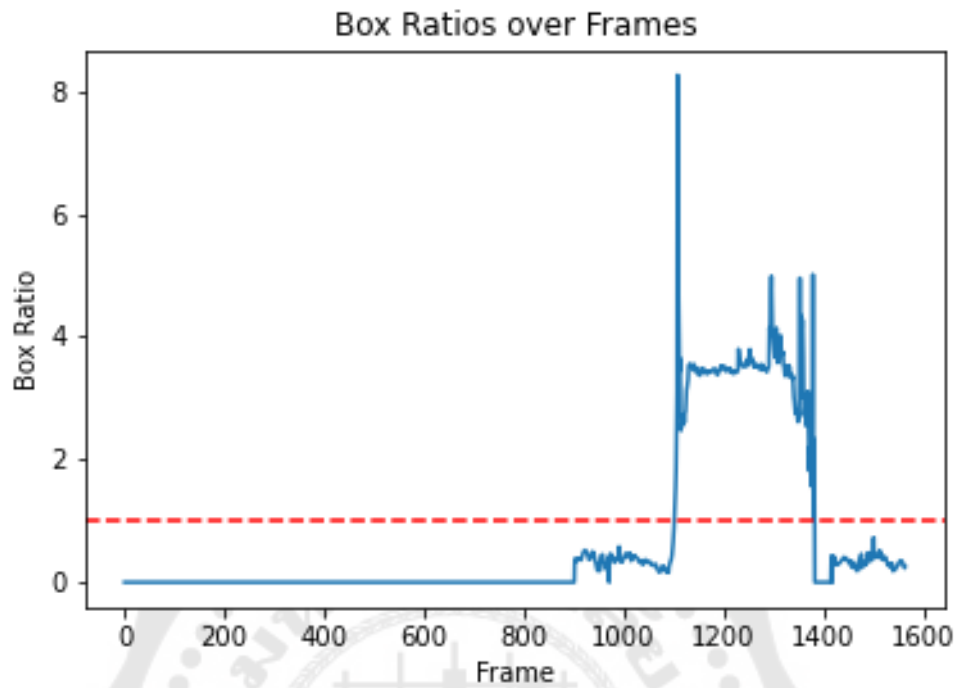
## 4.1.1.7 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 1 กล้องที่ 7



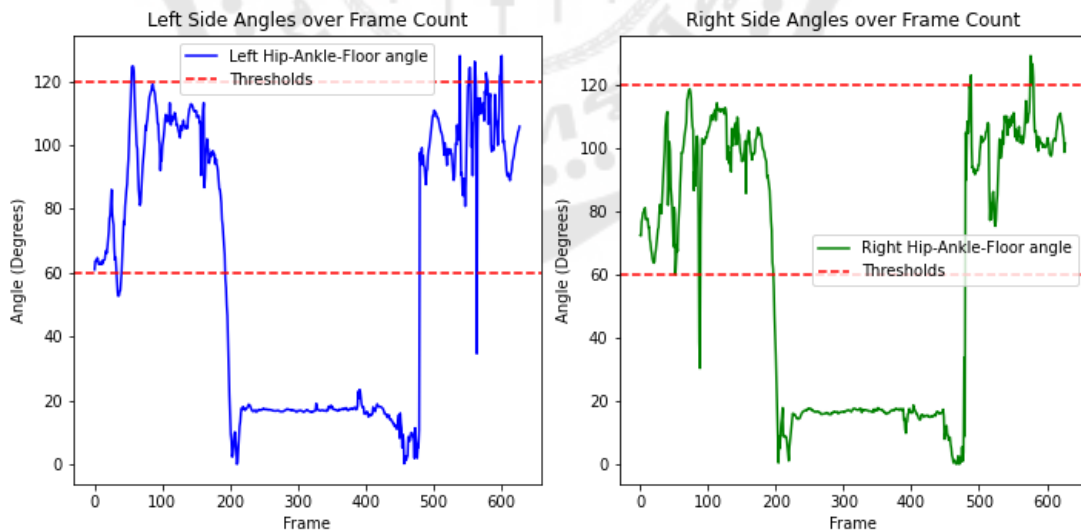
ภาพประกอบ 26 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 1 กล้องที่ 7

ตาราง 7 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 1 กล้องที่ 7

| วิธีการตรวจจับการล้ม  | ร้อยละจำนวน<br>เฟรมที่มีหายไป<br>สามารถจับผู้<br>ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|---|---|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขต<br>สี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์<br>(Bounding box)              | 91.28   | 0.99     | 0.99   | 0.99      | 0.99     |
| การเปลี่ยนแปลงองศาหมุน<br>ของร่างกายเมื่อล้ม (มุม<br>สะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) | 91.28   | 0.93     | 0.99   | 0.88      | 0.93     |



ภาพประกอบ 27 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 1 กล้องหมายเลข 7



ภาพประกอบ 28 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 1

กล้องที่ 7

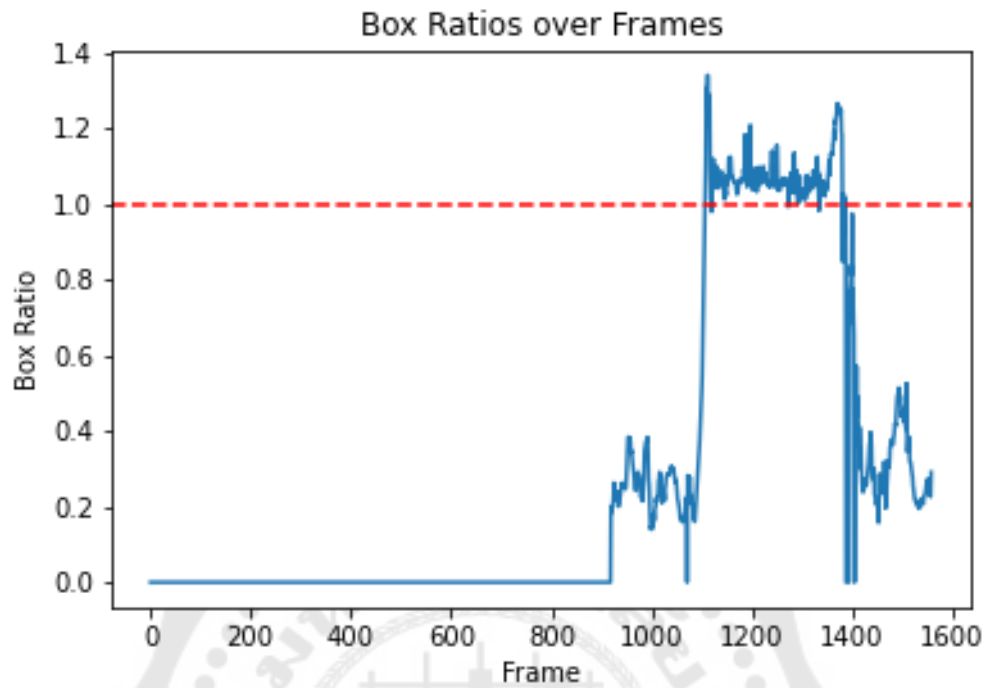
## 4.1.1.8 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 1 กล้องที่ 8



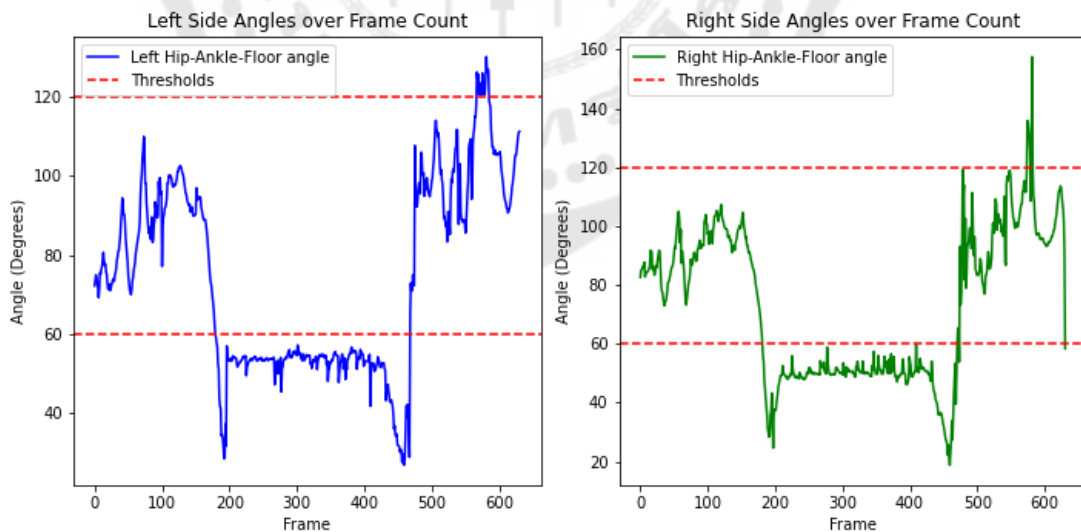
ภาพประกอบ 29 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 1 กล้องที่ 8

ตาราง 8 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 1 กล้องที่ 8

| วิธีการตรวจจับการล้ม   | ร้อยละจำนวนเฟรมที่มีเค้ไปป์สามารถจับผู้ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|--|---|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box)            | 85.25   | 0.95     | 0.89   | 1         | 0.94     |
| การเปลี่ยนแปลงองศามุมของร่างกายเมื่อล้ม (มุมสะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) | 85.25   | 0.93     | 0.93   | 0.92      | 0.93     |



ภาพประกอบ 30 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 1 กล้องหมายเลข 8



ภาพประกอบ 31 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้ข้อมูลมุมมองร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 1

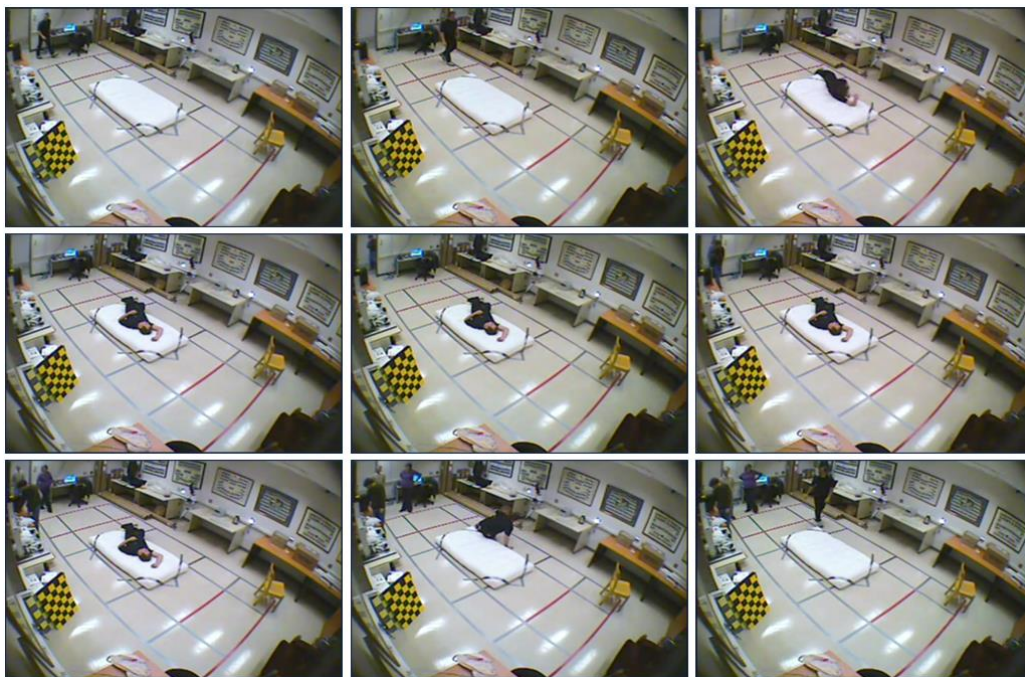
กล้องที่ 8



#### 4.1.2 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 2

สถานการณ์นี้ เป็นสถานการณ์ที่ผู้ทดลอง เดินเข้ามาจากประตูทางเข้า มายังมุม  
ฟูกกลางห้อง ล้มตะแคงด้านข้างและพลิกตัวหงายหลังบนฟูก แล้วจึงลุกขึ้นยืน

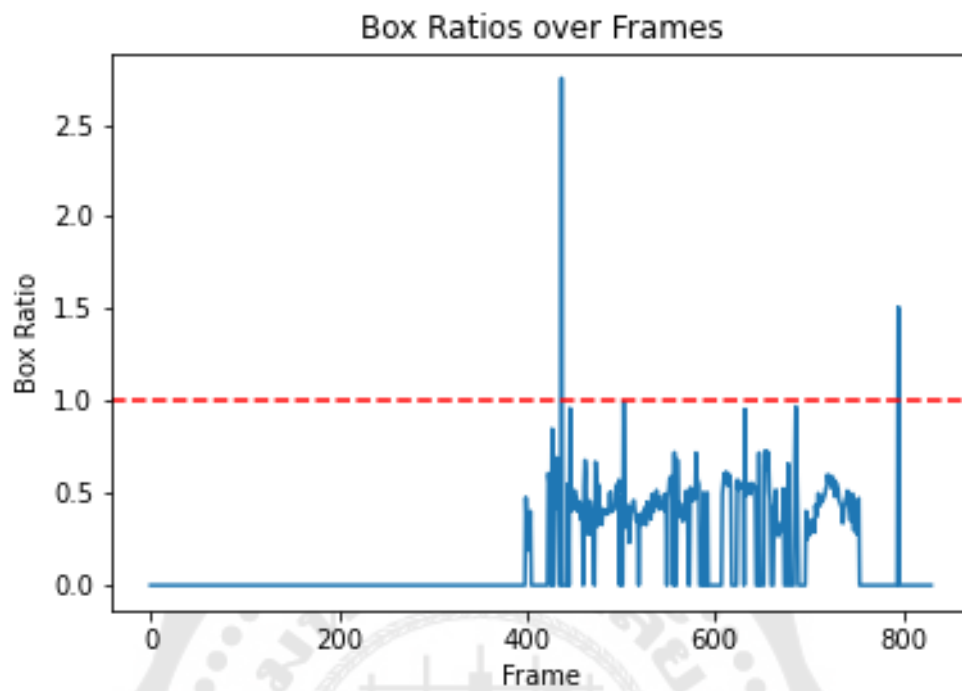
##### 4.1.2.1 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 2 กล้องที่ 1



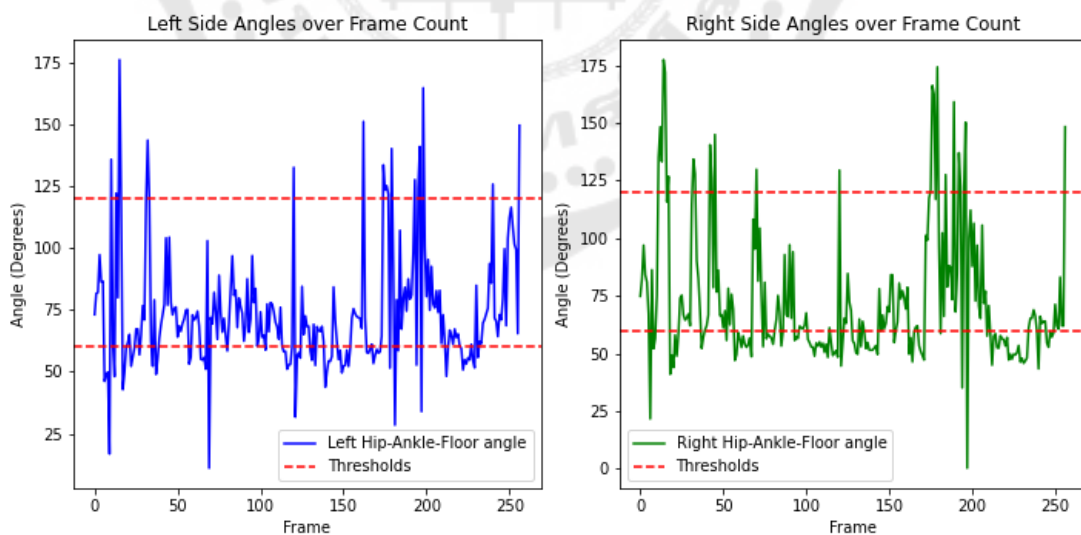
ภาพประกอบ 32 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 2 กล้องที่ 1

ตาราง 9 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 2 กล้องที่ 1

| วิธีการตรวจจับการล้ม  | ร้อยละจำนวน<br>เฟรมที่มีเคย์<br>ไปป์สามารถจับ<br>ผู้ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|---|--|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขตสี่เหลี่ยม<br>รอบร่างกายมนุษย์ (Bounding<br>box)          | 46.31  | 0.03     | 0.01   | 1         | 0.02     |
| การเปลี่ยนแปลงองศาของ<br>ร่างกายเมื่อล้ม (มุมสะโพก-ข้อ<br>เท้า-เส้นพื้นดิน) | 46.31  | 0.64     | 0.63   | 1         | 0.77     |



ภาพประกอบ 33 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 2 กล้องหมายเลข 1



ภาพประกอบ 34 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 2 กล้องที่ 1

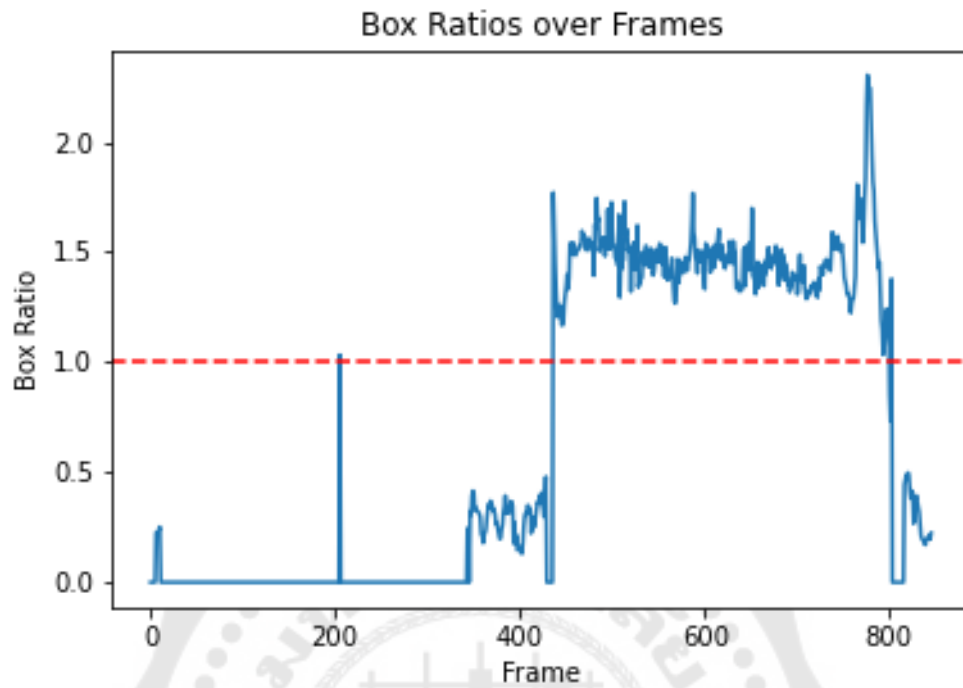
## 4.1.2.2 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 2 กล้องที่ 2



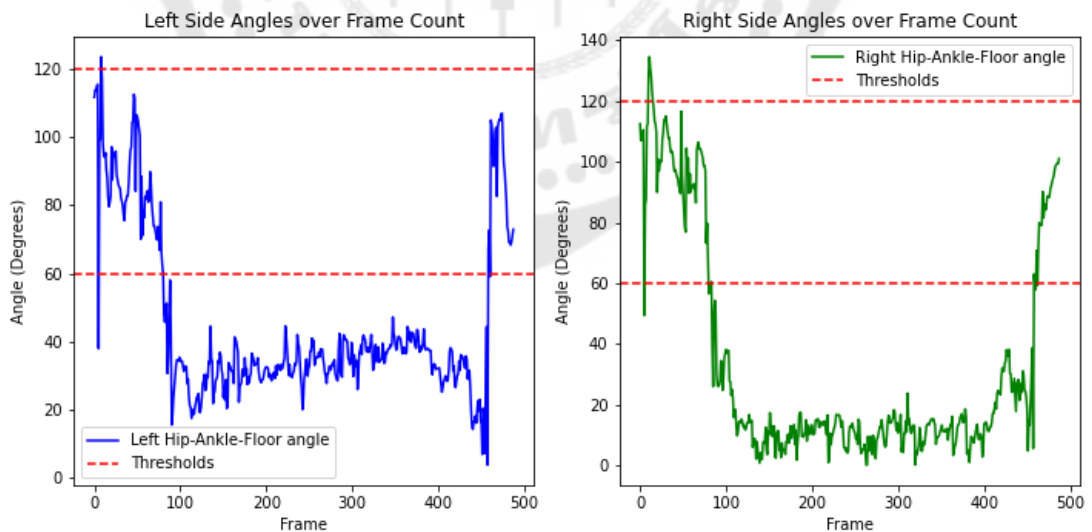
ภาพประกอบ 35 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 2 กล้องที่ 2

ตาราง 10 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 2 กล้องที่ 2

| วิธีการตรวจจับการล้ม   | ร้อยละจำนวนเฟรมที่มีเค้ไปป์สามารถจับผู้ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|--|---|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box)            | 96.44   | 0.83     | 0.82   | 1         | 0.90     |
| การเปลี่ยนแปลงองศามุมของร่างกายเมื่อล้ม (มุมสะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) | 96.44   | 0.84     | 0.85   | 0.97      | 0.91     |



ภาพประกอบ 36 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 2 กล้องหมายเลข 2



ภาพประกอบ 37 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 2 กล้องที่ 2



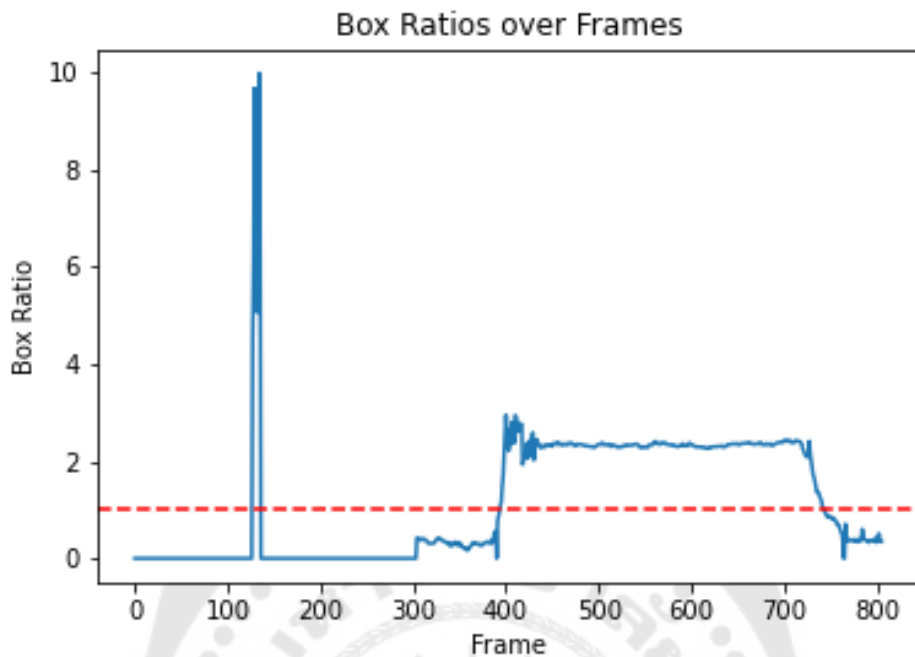
## 4.1.2.3 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 2 กล้องที่ 3



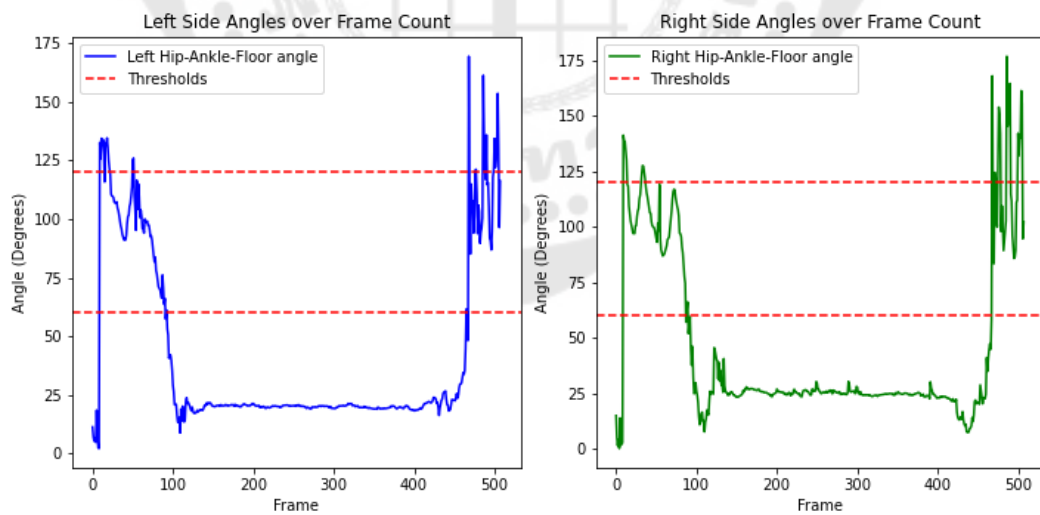
ภาพประกอบ 38 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 2 กล้องที่ 3

ตาราง 11 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 2 กล้องที่ 3

| วิธีการตรวจจับการล้ม   | ร้อยละจำนวน<br>เฟรมที่มีเค้ไปป์<br>สามารถจับผู้<br>ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|--|---|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขต<br>สี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์<br>(Bounding box)             | 99.01   | 0.93     | 0.91   | 1         | 0.95     |
| การเปลี่ยนแปลงองศามุม<br>ของร่างกายเมื่อล้ม (มุม<br>สะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) | 99.01   | 0.92     | 0.99   | 0.91      | 0.95     |



ภาพประกอบ 39 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 2 กล้องหมายเลข 3



ภาพประกอบ 40 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 2

กล้องที่ 3



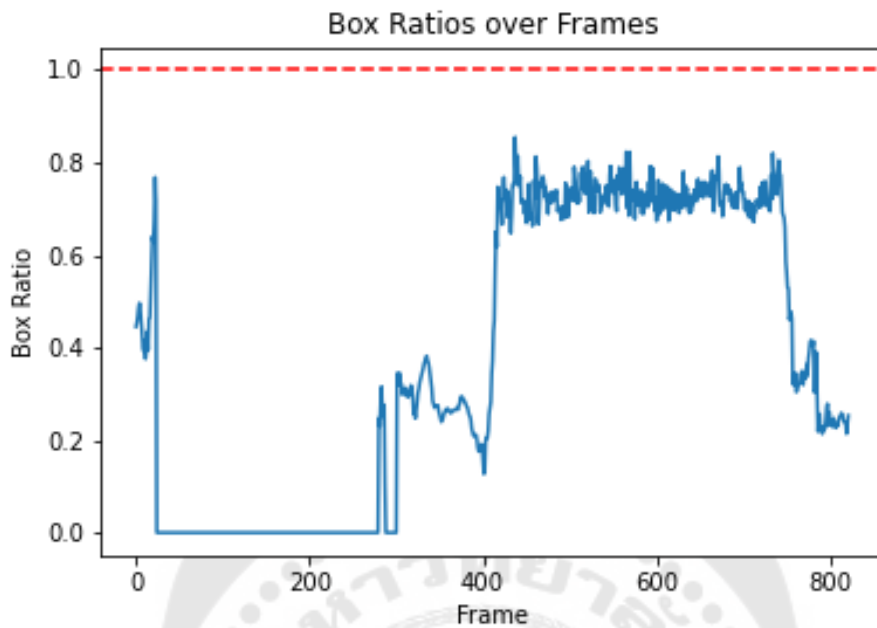
## 4.1.2.4 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 2 ครั้งที่ 4



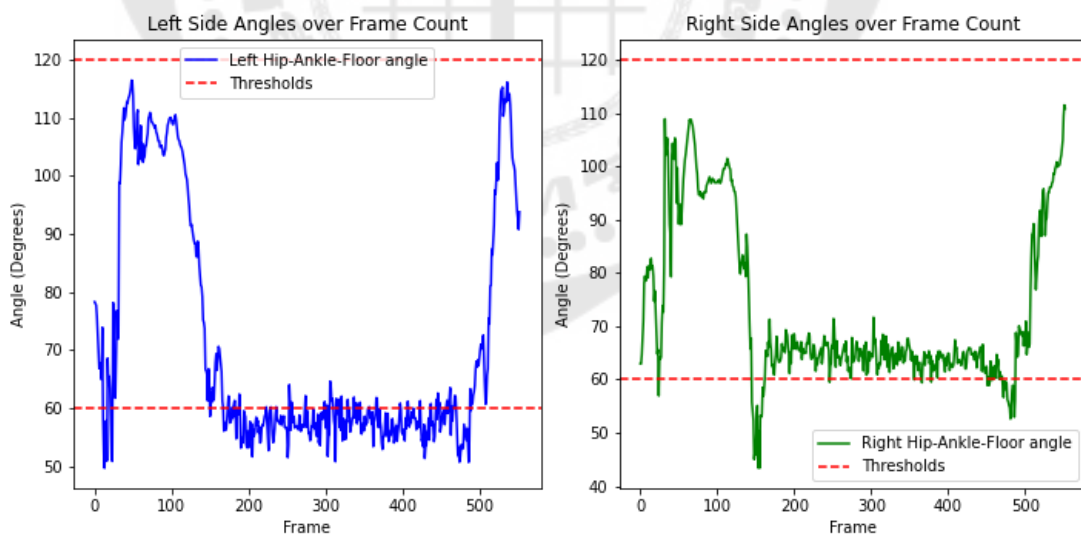
ภาพประกอบ 41 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 2 ครั้งที่ 4

ตาราง 12 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 2 ครั้งที่ 4

| วิธีการตรวจจับการล้ม  | ร้อยละจำนวน<br>เฟรมที่มีเคย์ไปป์<br>สามารถจับผู้<br>ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|---|--|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขต<br>สี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์<br>(Bounding box)              | 100  | 0.25     | 0.00   | N/A       | N/A      |
| การเปลี่ยนแปลงองศาหมุน<br>ของร่างกายเมื่อล้ม (มุม<br>สะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) | 100  | 0.82     | 0.76   | 1         | 0.86     |

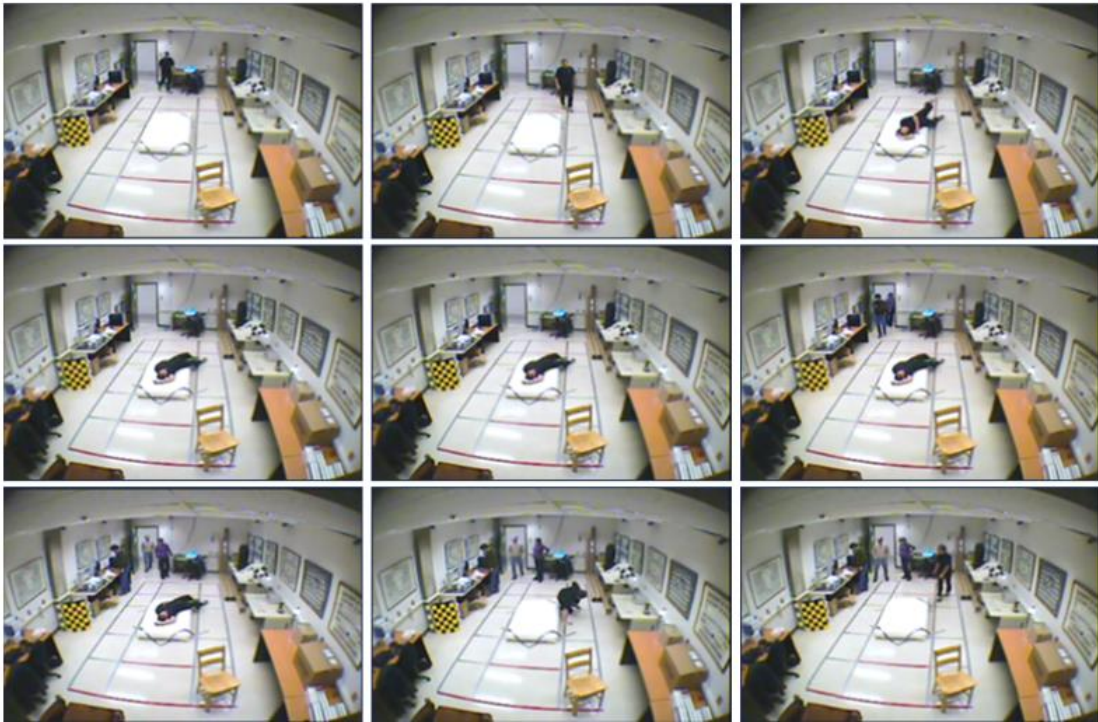


ภาพประกอบ 42 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 2 กล้องหมายเลข 4



ภาพประกอบ 43 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยให้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 2 กล้องที่ 4

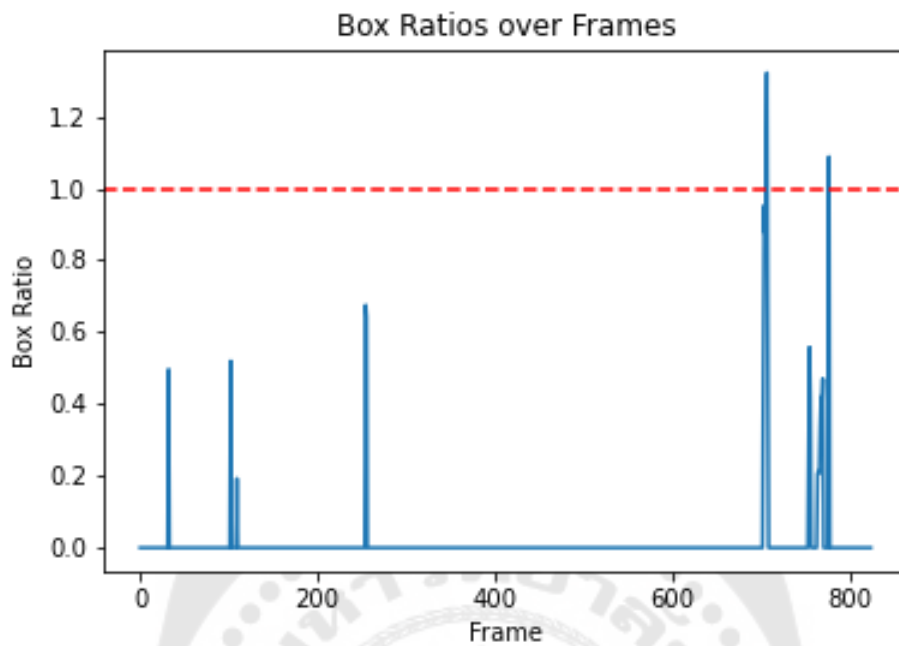
## 4.1.2.5 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 2 กล้องที่ 5



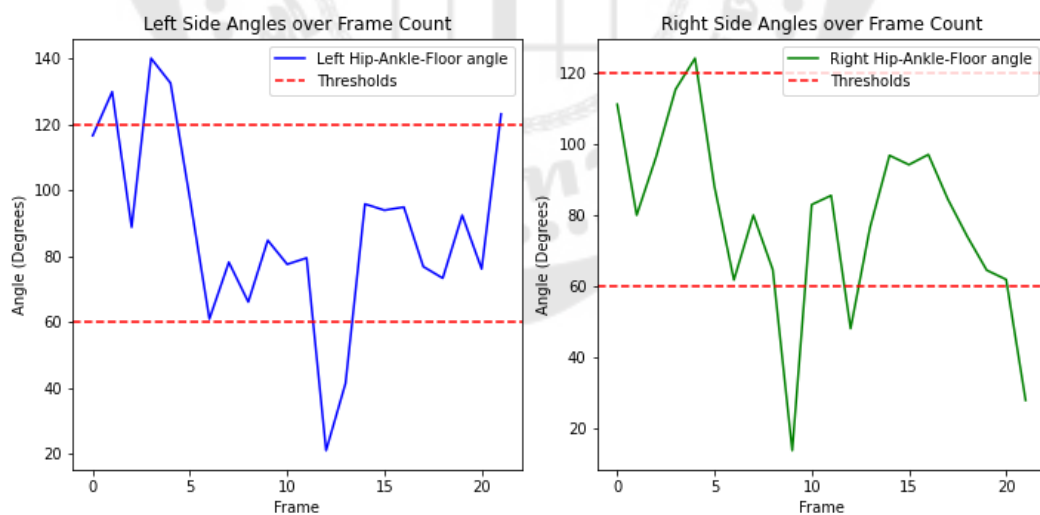
ภาพประกอบ 44 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 2 กล้องที่ 5

ตาราง 13 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 2 กล้องที่ 5

| วิธีการตรวจจับการล้ม   | ร้อยละจำนวน<br>เฟรมที่มีเค้ไปป์<br>สามารถจับผู้<br>ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|--|---|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขต<br>สี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์<br>(Bounding box)             | 3.87  | 0.36     | 0.18   | 0.1       | 0.30     |
| การเปลี่ยนแปลงองศามุม<br>ของร่างกายเมื่อล้ม (มุม<br>สะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) | 3.87  | 0.27     | 0.24   | 0.57      | 0.33     |



ภาพประกอบ 45 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 2 กล้องหมายเลข 5



ภาพประกอบ 46 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศร่าร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 2 กล้องที่ 5



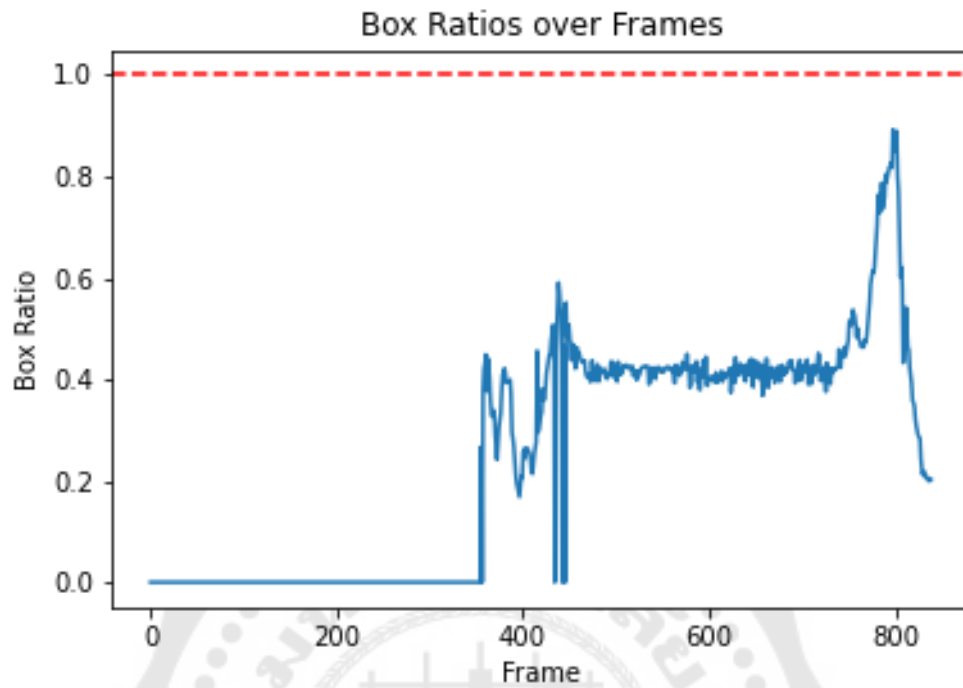
## 4.1.2.6 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 2 ครั้งที่ 6



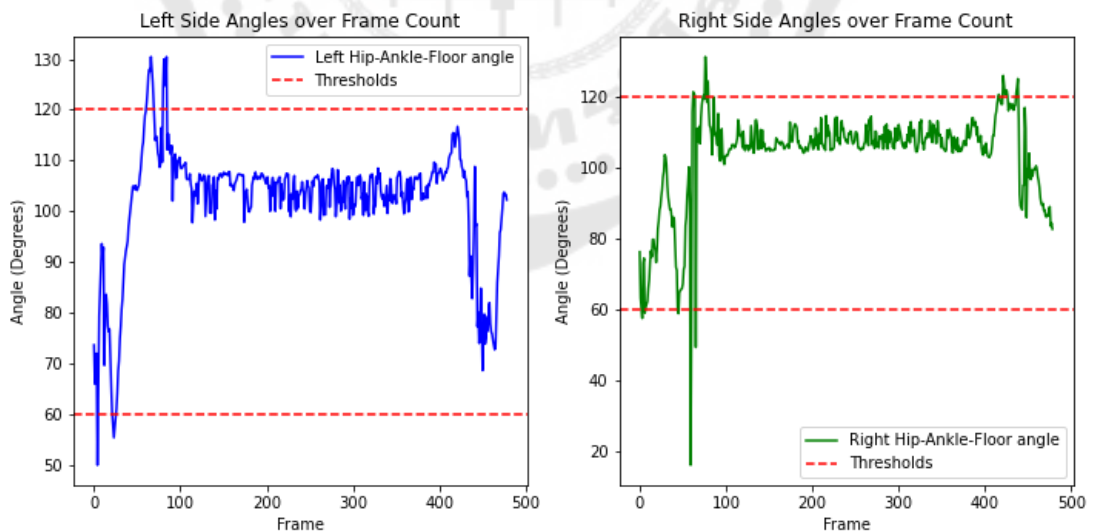
ภาพประกอบ 47 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 2 ครั้งที่ 6

ตาราง 14 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 2 ครั้งที่ 6

| วิธีการตรวจจับการล้ม   | ร้อยละจำนวน<br>เฟรมที่มีเค้ไป<br>สามารถจับผู้<br>ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|--|---|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขต<br>สีเหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์<br>(Bounding box)              | 98.36   | 0.20     | 0.00   | N/A       | N/A      |
| การเปลี่ยนแปลงองศามุม<br>ของร่างกายเมื่อล้ม (มุม<br>สะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) | 98.36   | 0.21     | 0.06   | 0.59      | 0.11     |



ภาพประกอบ 48 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 2 กล้องหมายเลข 6



ภาพประกอบ 49 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยให้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 2 กล้องที่ 6



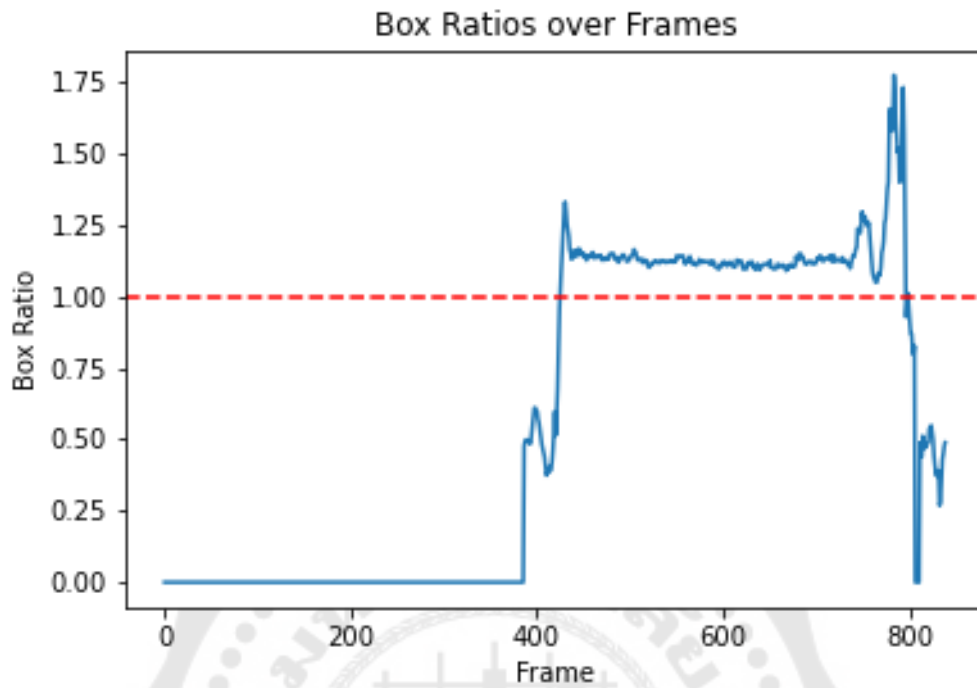
## 4.1.2.7 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 2 ครั้งที่ 7



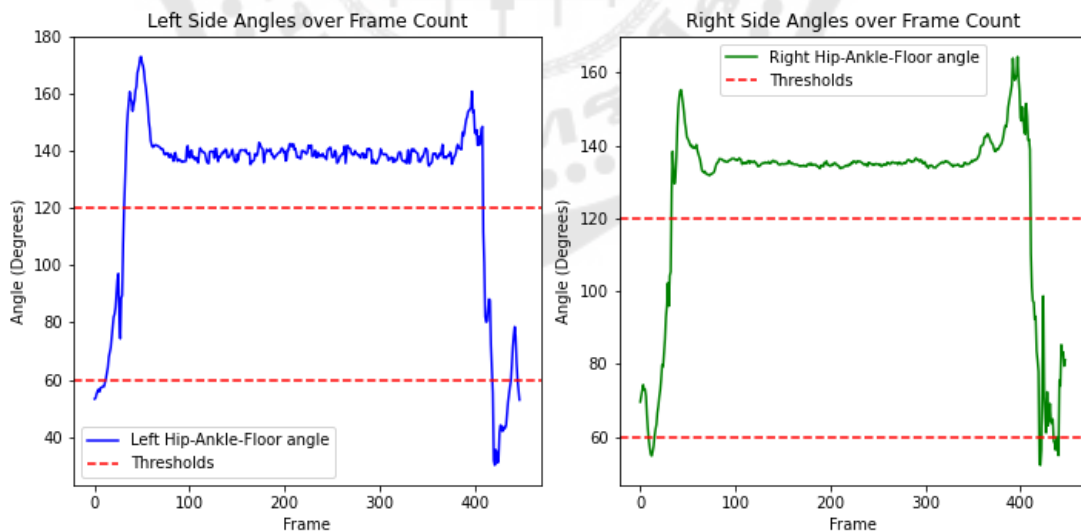
ภาพประกอบ 50 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 2 ครั้งที่ 7

ตาราง 15 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 2 ครั้งที่ 7

| วิธีการตรวจจับการล้ม   | ร้อยละจำนวน<br>เฟรมที่มีเค้ไปป์<br>สามารถจับผู้<br>ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|--|---|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขต<br>สีเหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์<br>(Bounding box)              | 96.76   | 0.97     | 0.96   | 1         | 0.98     |
| การเปลี่ยนแปลงองศามุม<br>ของร่างกายเมื่อล้ม (มุม<br>สะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) | 96.76   | 0.90     | 0.98   | 0.91      | 0.94     |

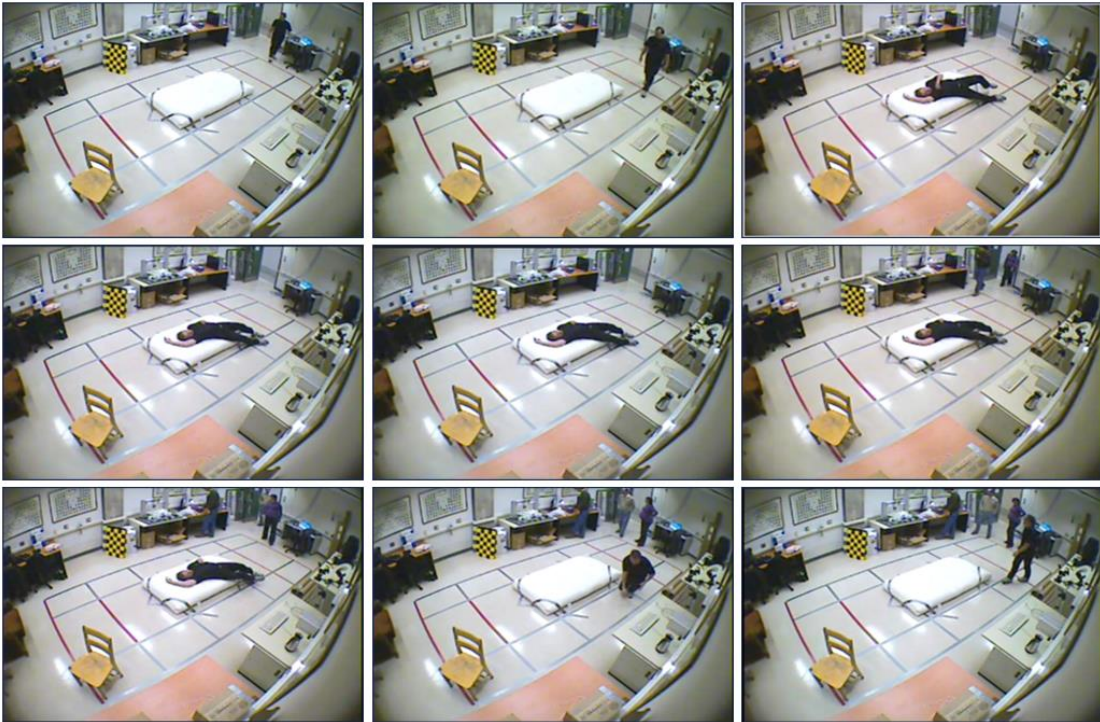


ภาพประกอบ 51 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 2 กล้องหมายเลข 7



ภาพประกอบ 52 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมองศาในร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 2 กล้องที่ 7

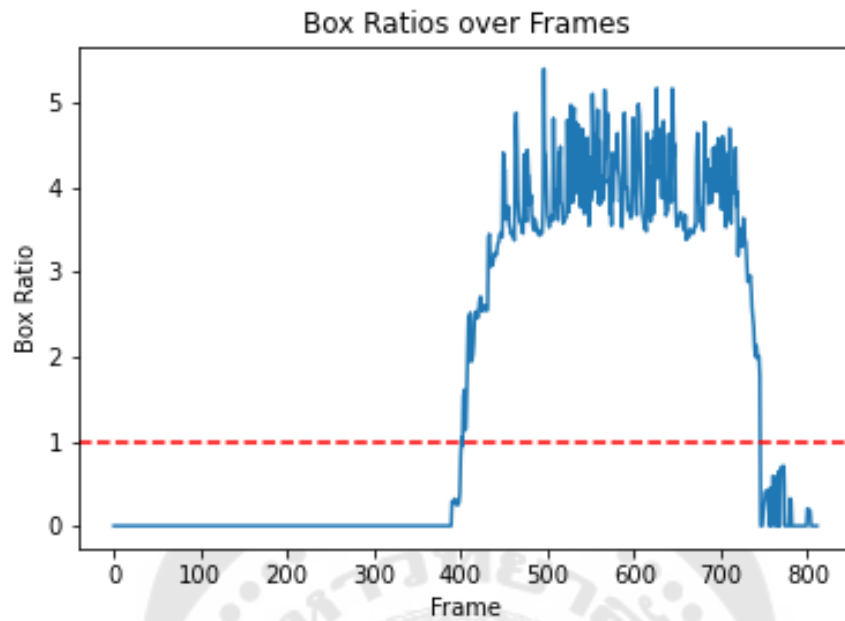
## 4.1.2.8 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 2 กล้องที่ 8



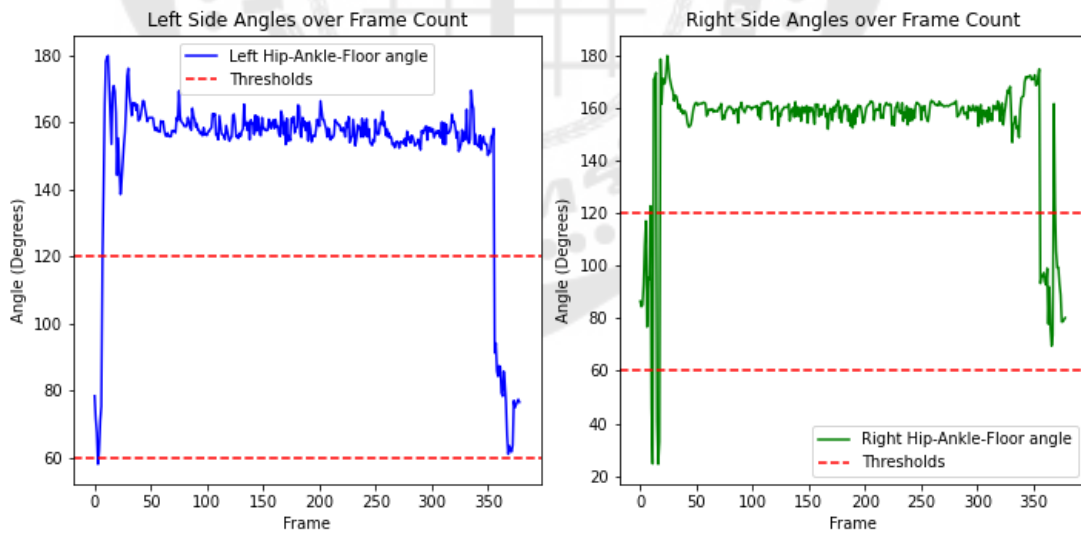
ภาพประกอบ 53 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 2 กล้องที่ 8

ตาราง 16 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 2 กล้องที่ 8

| วิธีการตรวจจับการล้ม   | ร้อยละจำนวน<br>เฟรมที่มีเค้ไป<br>สามารถจับผู้<br>ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|--|---|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขต<br>สี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์<br>(Bounding box)             | 67.56   | 0.94     | 0.94   | 1         | 0.97     |
| การเปลี่ยนแปลงองศามุม<br>ของร่างกายเมื่อล้ม (มุม<br>สะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) | 67.56   | 0.95     | 0.95   | 1         | 0.97     |



ภาพประกอบ 54 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 2 กล้องหมายเลข 8



ภาพประกอบ 55 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดมใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 2

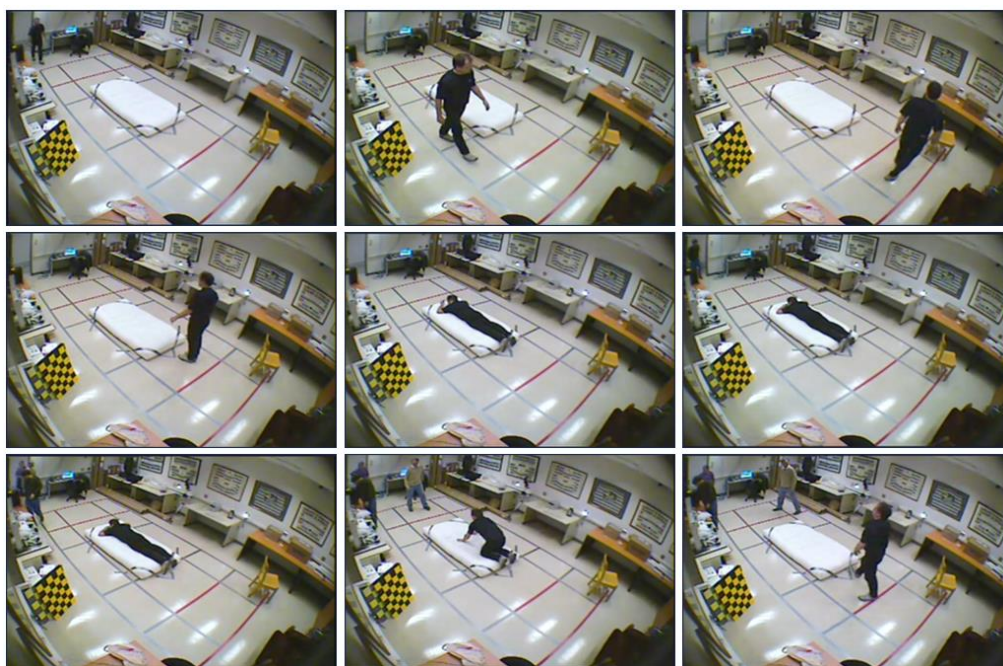
กล้องที่ 8



#### 4.1.3 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 3

สถานการณ์นี้ เป็นสถานการณ์ที่ผู้ทดลอง เดินเข้ามาจากประตูทางเข้า มายังปลายฟูกกลางห้อง หยุดยืนและล้มไปด้านหน้าบนฟูก จากนั้นตั้งท่าในลักษณะคุกเข่า แล้วจึงลุกขึ้นยืน

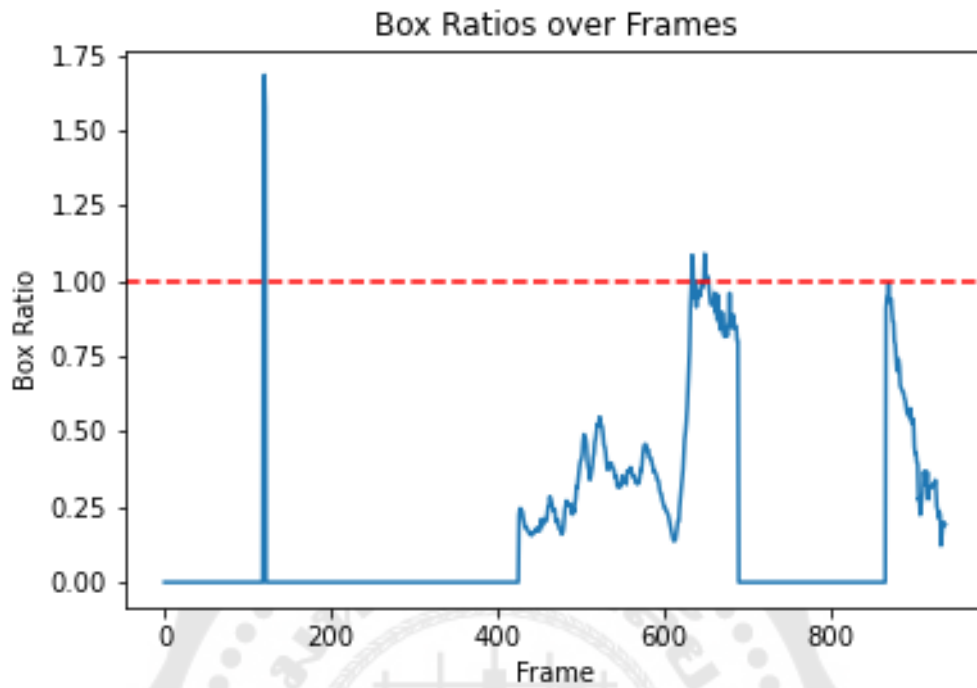
##### 4.1.3.1 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 3 กล้องที่ 1



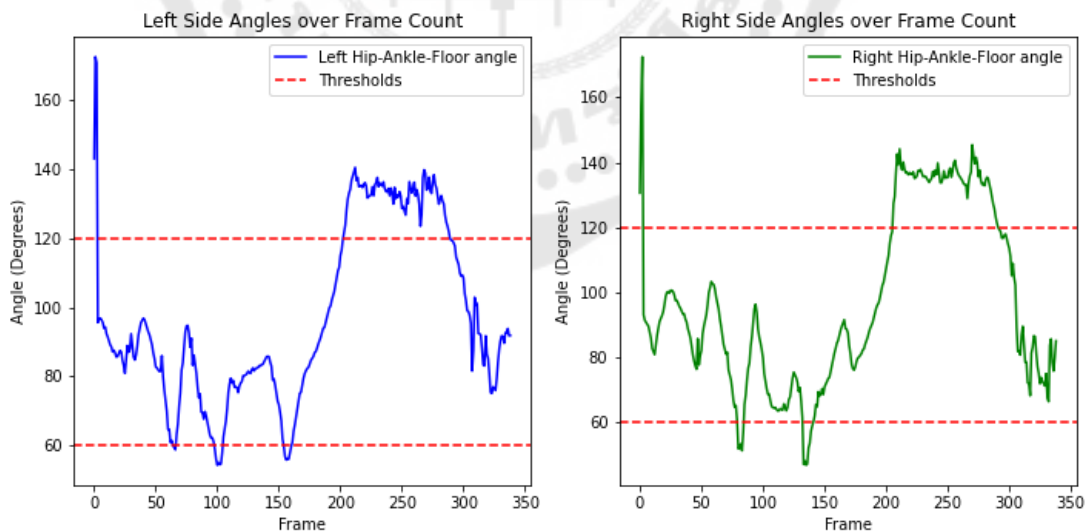
ภาพประกอบ 56 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 3 กล้องที่ 1

ตาราง 17 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 3 กล้องที่ 1

| วิธีการตรวจจับการล้ม  | ร้อยละจำนวนเฟรมที่มีเหตุไปป์สามารถจับผู้ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|---|--|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box)         | 56.31  | 0.68     | 0.07   | 0.73      | 0.13     |
| การเปลี่ยนแปลงองศาของร่างกายเมื่อล้ม (มุมสะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) | 56.31  | 0.82     | 0.76   | 0.71      | 0.74     |



ภาพประกอบ 57 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 3 กล้องหมายเลข 1



ภาพประกอบ 58 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยให้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 3 กล้องที่ 1



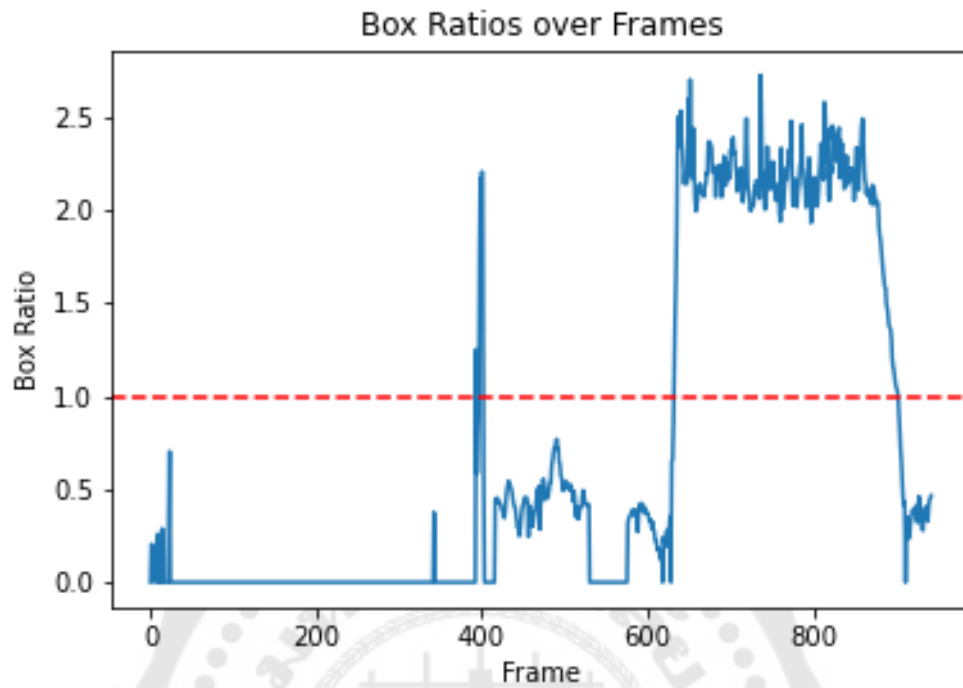
## 4.1.3.2 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 3 กล้องที่ 2



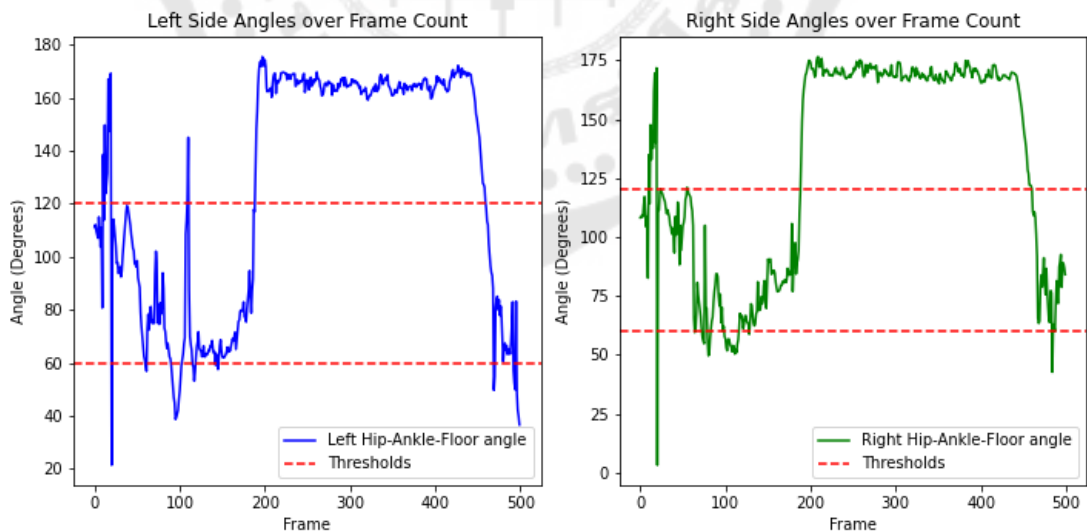
ภาพประกอบ 59 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 3 กล้องที่ 2

ตาราง 18 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 3 กล้องที่ 2

| วิธีการตรวจจับการล้ม   | ร้อยละจำนวน<br>เฟรมที่มีเค้ไปป์<br>สามารถจับผู้<br>ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|--|---|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขต<br>สี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์<br>(Bounding box)             | 94.34   | 0.94     | 0.93   | 0.97      | 0.95     |
| การเปลี่ยนแปลงองศามุม<br>ของร่างกายเมื่อล้ม (มุม<br>สะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) | 94.34   | 0.83     | 0.93   | 0.80      | 0.86     |



ภาพประกอบ 60 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 3 กล้องหมายเลข 2



ภาพประกอบ 61 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้มุมองศาในร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 3 กล้องที่ 2

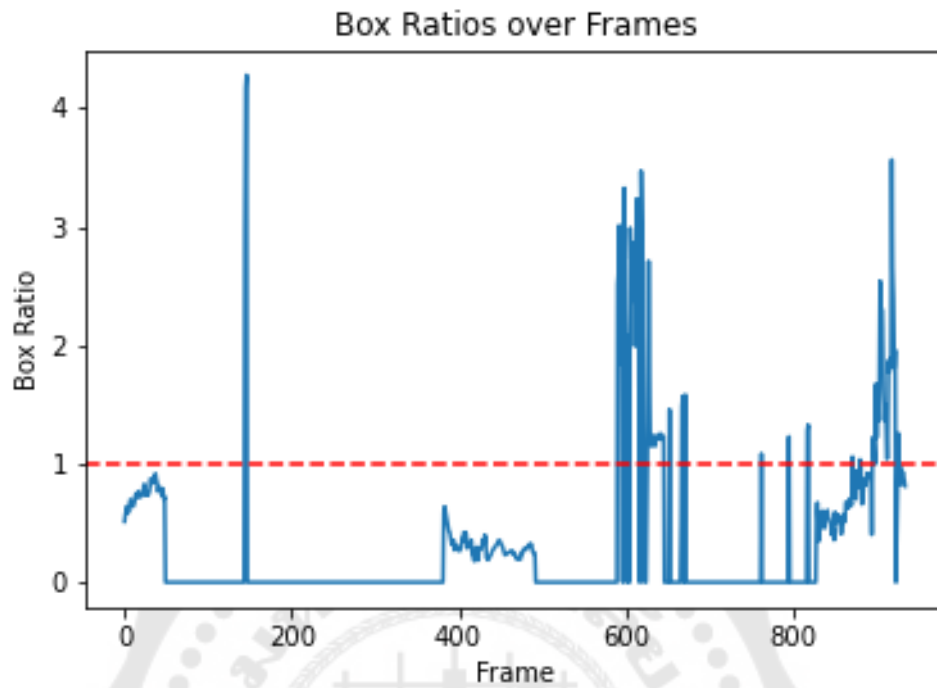
## 4.1.3.3 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 3 กล้องที่ 3



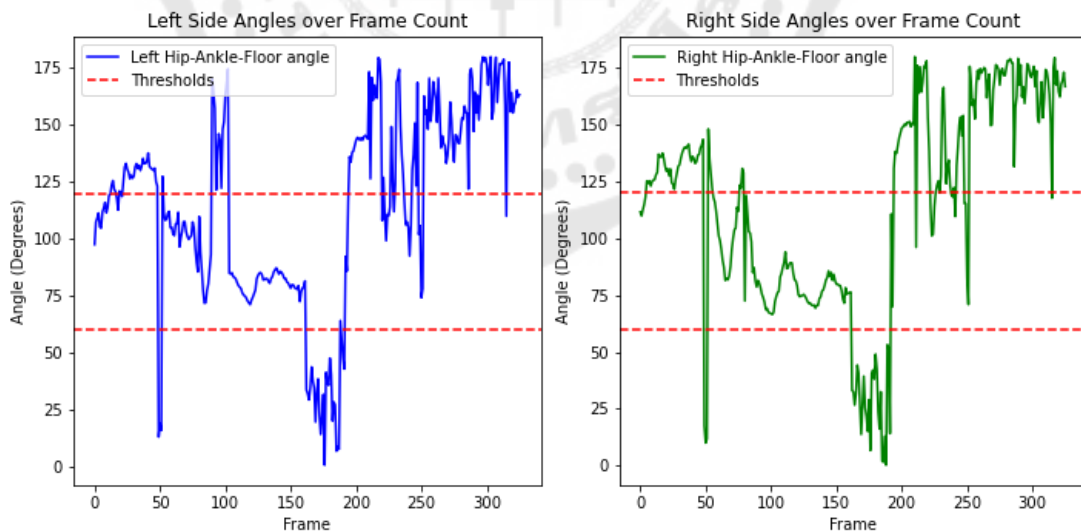
ภาพประกอบ 62 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 3 กล้องที่ 3

ตาราง 19 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 3 กล้องที่ 3

| วิธีการตรวจจับการล้ม   | ร้อยละจำนวน<br>เฟรมที่มีเค้ไปป์<br>สามารถจับผู้<br>ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|--|---|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขต<br>สี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์<br>(Bounding box)             | 58.95   | 0.69     | 0.45   | 0.60      | 0.51     |
| การเปลี่ยนแปลงองศามุม<br>ของร่างกายเมื่อล้ม (มุม<br>สะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) | 58.95   | 0.62     | 0.88   | 0.49      | 0.63     |



ภาพประกอบ 63 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 3 กล้องหมายเลข 3



ภาพประกอบ 64 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 3 กล้องที่ 3



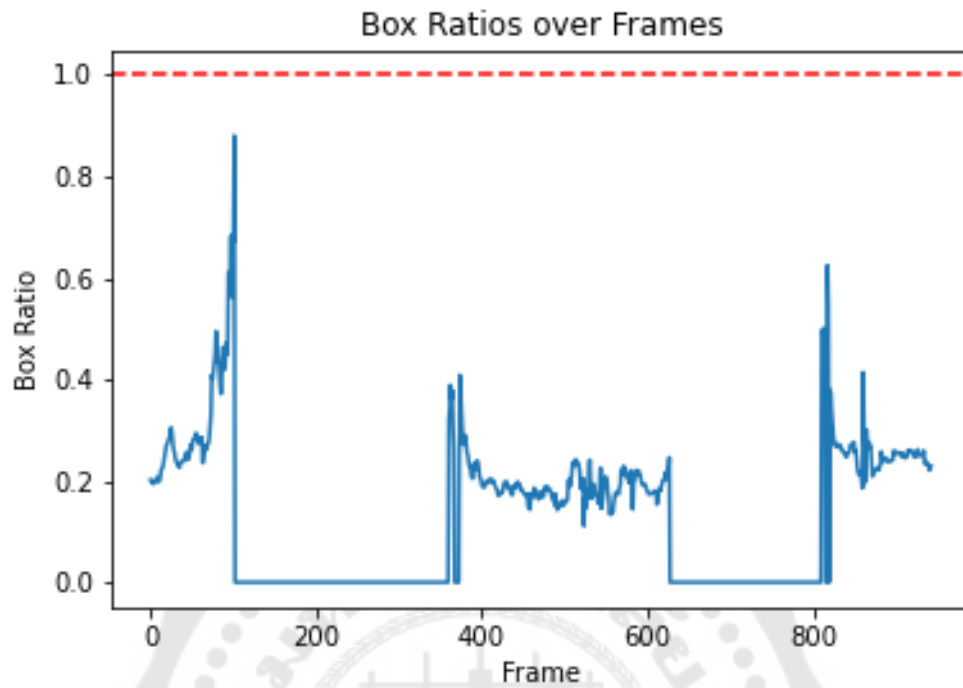
## 4.1.3.4 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 3 กล้องที่ 4



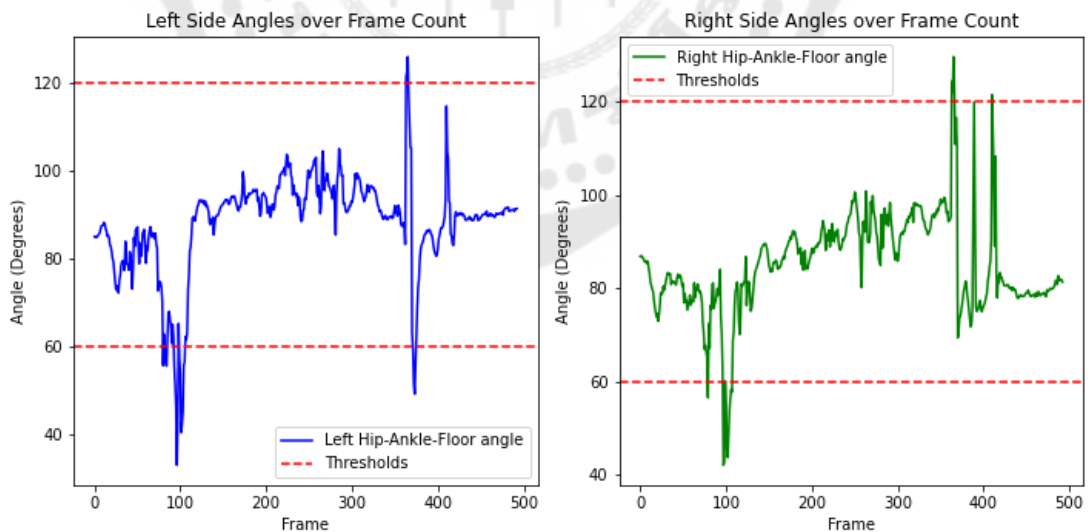
ภาพประกอบ 65 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 3 กล้องที่ 4

ตาราง 20 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 3 กล้องที่ 4

| วิธีการตรวจจับการล้ม  | ร้อยละจำนวน<br>เฟรมที่มีเค้ไป<br>สามารถจับผู้<br>ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|---|---|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขต<br>สี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์<br>(Bounding box)          | 86.95   | 0.77     | 0.00   | N/A       | N/A      |
| การเปลี่ยนแปลงองศา<br>ของร่างกายเมื่อล้ม (มุม<br>สะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) | 86.95   | 0.75     | 0.08   | 0.31      | 0.13     |



ภาพประกอบ 66 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 3 กล้องหมายเลข 4



ภาพประกอบ 67 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยให้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 3 กล้องที่ 4



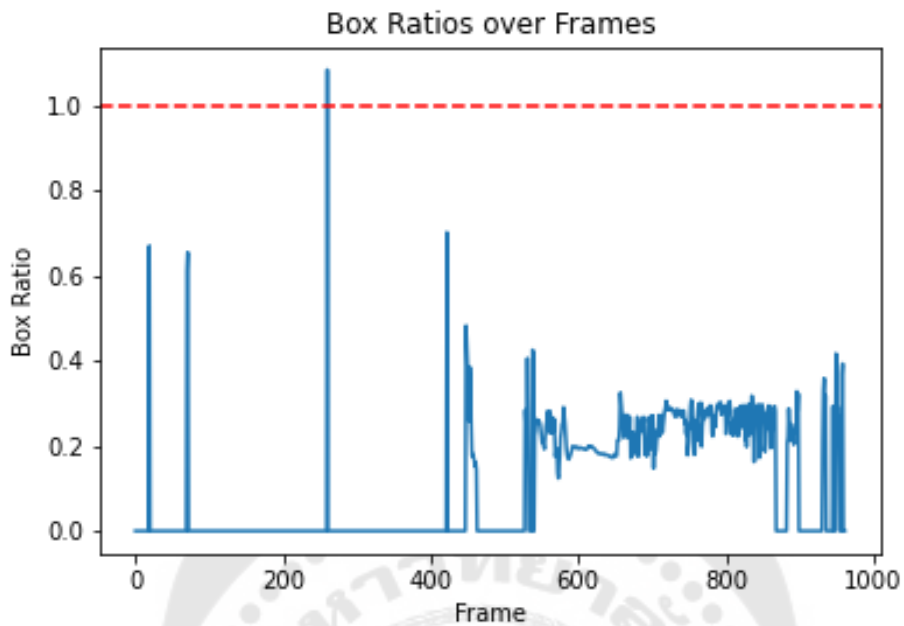
## 4.1.3.5 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 3 กล้องที่ 5



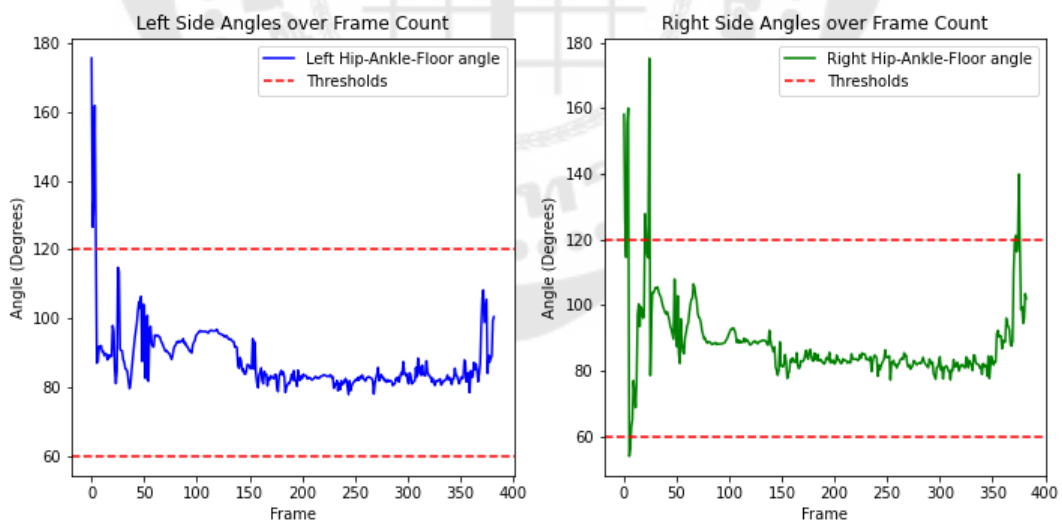
ภาพประกอบ 68 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 3 กล้องที่ 5

ตาราง 21 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 3 กล้องที่ 5

| วิธีการตรวจจับการล้ม  | ร้อยละจำนวน<br>เฟรมที่มีเค้ไป<br>สามารถจับผู้<br>ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|---|---|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขต<br>สีเหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์<br>(Bounding box)           | 62.18   | 0.38     | 0.00   | 0.00      | N/A      |
| การเปลี่ยนแปลงองศา<br>ของร่างกายเมื่อล้ม (มุม<br>สะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) | 62.18   | 0.37     | 0.01   | 0.17      | 0.02     |



ภาพประกอบ 69 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 3 กล้องหมายเลข 5



ภาพประกอบ 70 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 3 กล้องที่ 5

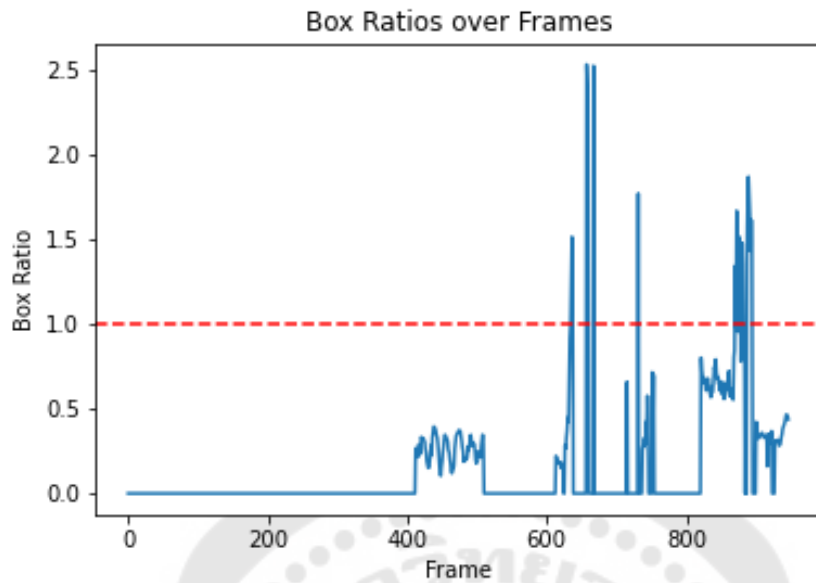
## 4.1.3.6 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 3 กล้องที่ 6



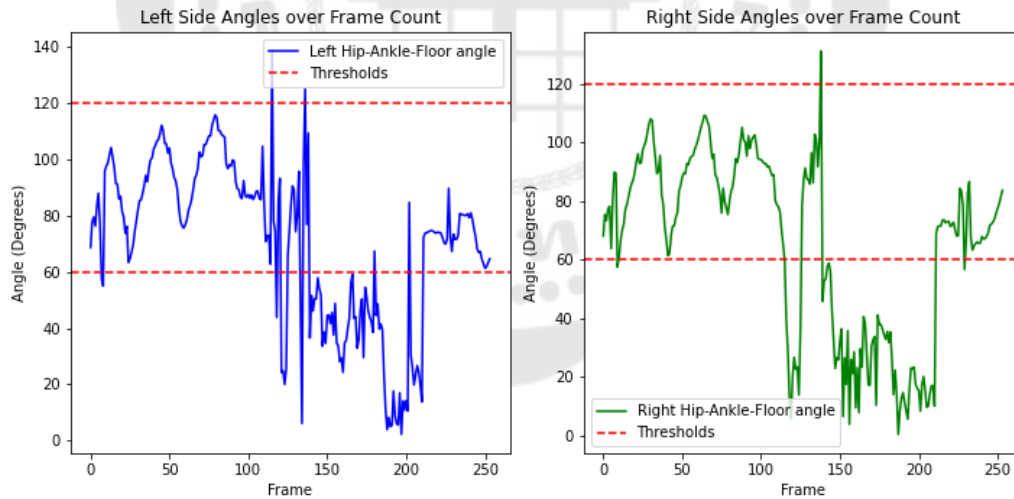
ภาพประกอบ 71 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 3 กล้องที่ 6

ตาราง 22 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 3 กล้องที่ 6

| วิธีการตรวจจับการล้ม  | ร้อยละจำนวน<br>เฟรมที่มีเค้ไปป์<br>สามารถจับผู้<br>ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|---|---|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขต<br>สี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์<br>(Bounding box)              | 46.52   | 0.63     | 0.20   | 0.92      | 0.33     |
| การเปลี่ยนแปลงองศาหมุน<br>ของร่างกายเมื่อล้ม (มุม<br>สะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) | 46.52   | 0.84     | 0.72   | 0.91      | 0.80     |



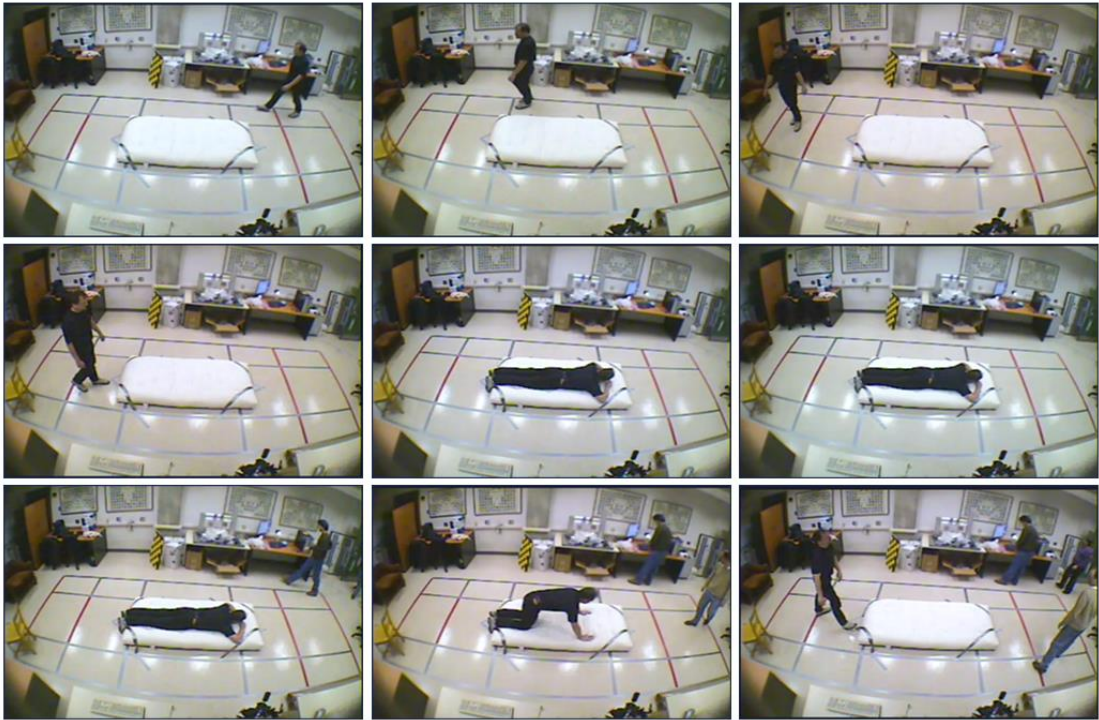
ภาพประกอบ 72 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 3 กล้องหมายเลข 6



ภาพประกอบ 73 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองสกร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 3 กล้องที่ 6



## 4.1.3.7 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 3 กล้องที่ 7

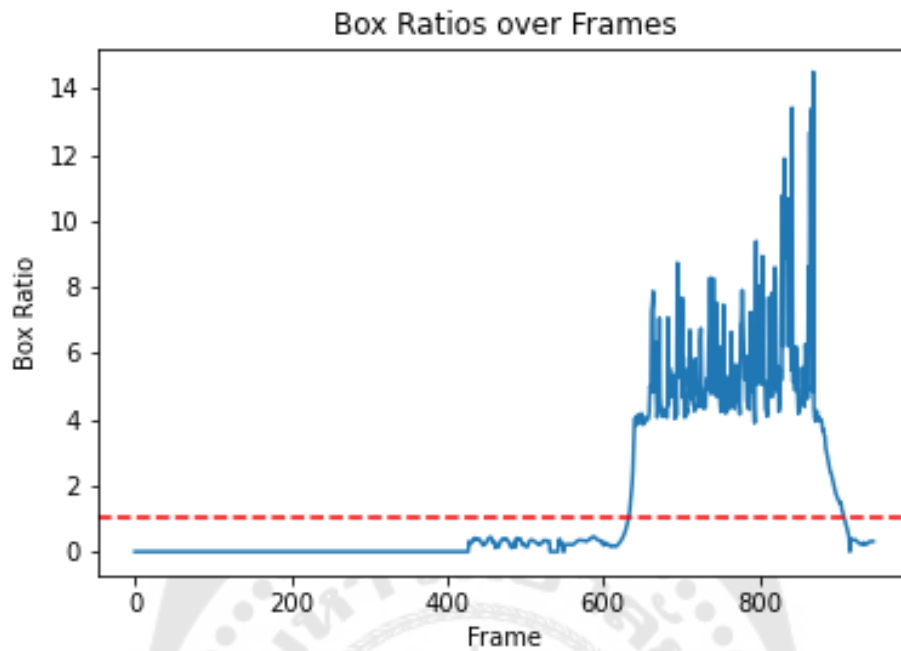


ภาพประกอบ 74 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 3 กล้องที่ 7

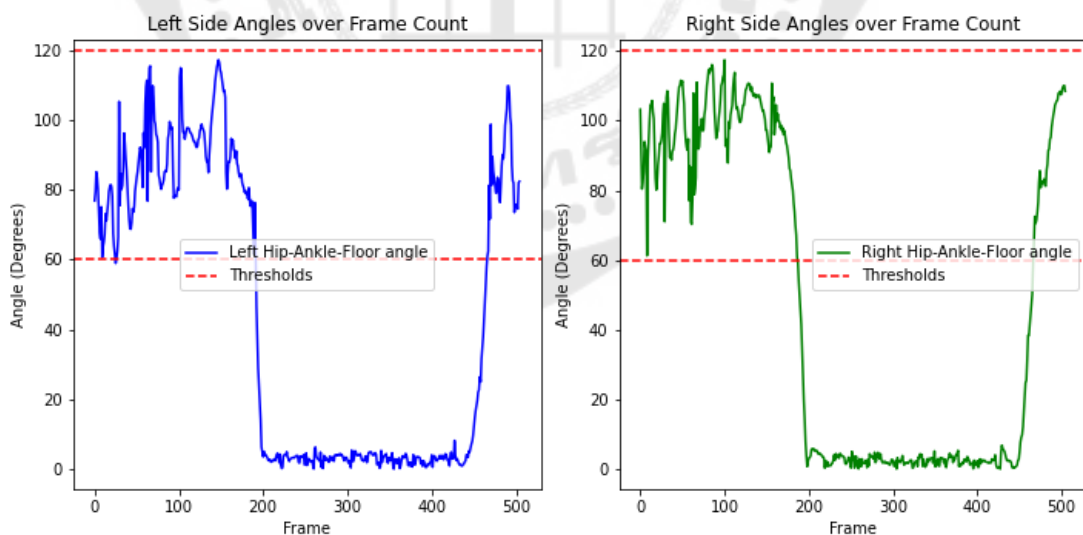
ตาราง 23 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 3 กล้องที่ 7

| วิธีการตรวจจับการล้ม   | ร้อยละจำนวน<br>เฟรมที่มีเค้ไปป์<br>สามารถจับผู้<br>ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|--|---|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขต<br>สี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์<br>(Bounding box)             | 89.86   | 0.96     | 0.94   | 0.99      | 0.96     |
| การเปลี่ยนแปลงองศามุม<br>ของร่างกายเมื่อล้ม (มุม<br>สะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) | 89.86   | 0.94     | 0.93   | 0.96      | 0.95     |





ภาพประกอบ 75 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 3 กล้องหมายเลข 7



ภาพประกอบ 76 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 3

กล้องที่ 7

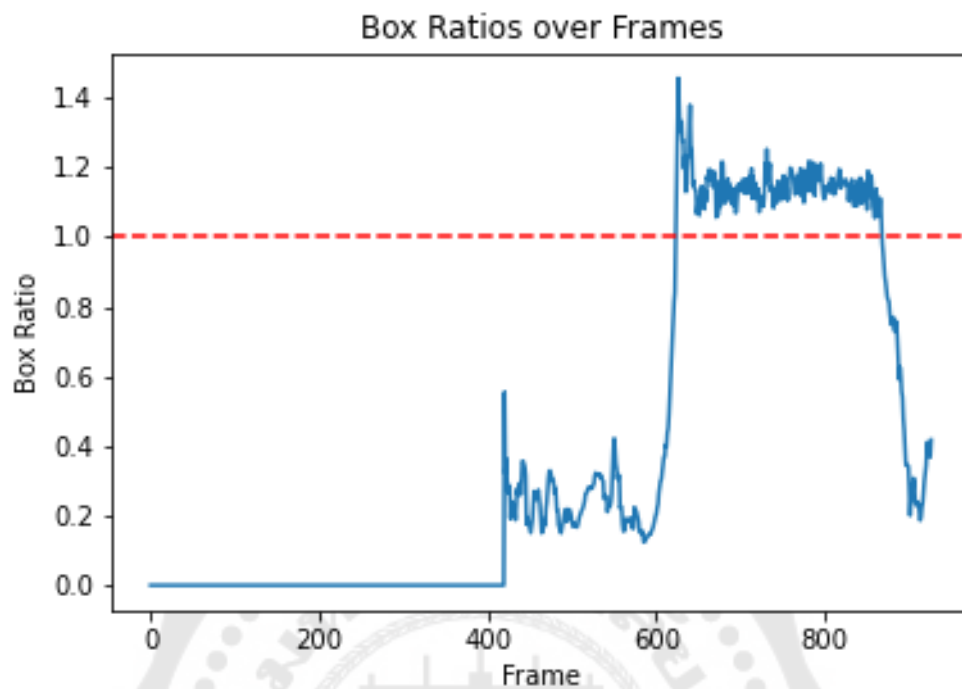
## 4.1.3.8 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 3 กล้องที่ 8



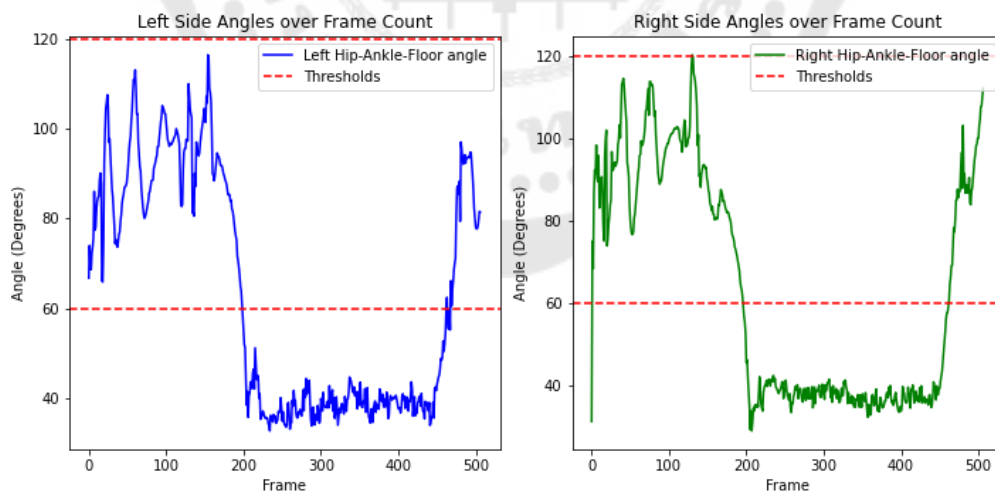
ภาพประกอบ 77 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 3 กล้องที่ 8

ตาราง 24 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 3 กล้องที่ 8

| วิธีการตรวจจับการล้ม   | ร้อยละจำนวน<br>เฟรมที่มีเค้ไปป์<br>สามารถจับผู้<br>ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|--|---|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขต<br>สี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์<br>(Bounding box)             | 86.37   | 0.91     | 0.84   | 1         | 0.91     |
| การเปลี่ยนแปลงองศามุม<br>ของร่างกายเมื่อล้ม (มุม<br>สะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) | 86.37   | 0.93     | 0.91   | 0.97      | 0.94     |



ภาพประกอบ 78 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 3 กล้องหมายเลข 8



ภาพประกอบ 79 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยให้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 3 กล้องที่ 8

#### 4.1.4 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 4

สถานการณ์นี้ เป็นสถานการณ์ที่ผู้ทดลอง เดินเข้ามาจากประตูทางเข้า มายังมุม พูกกลางห้อง และล้มตะแคงข้างไปบนพูก จากนั้นตั้งท่าจะลุกขึ้น และล้มในลักษณะตะแคงข้างอีก ครั้งบนพื้นบริเวณข้างพูก แล้วจึงลุกขึ้นยืน

##### 4.1.4.1 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 4 กล้องที่ 1



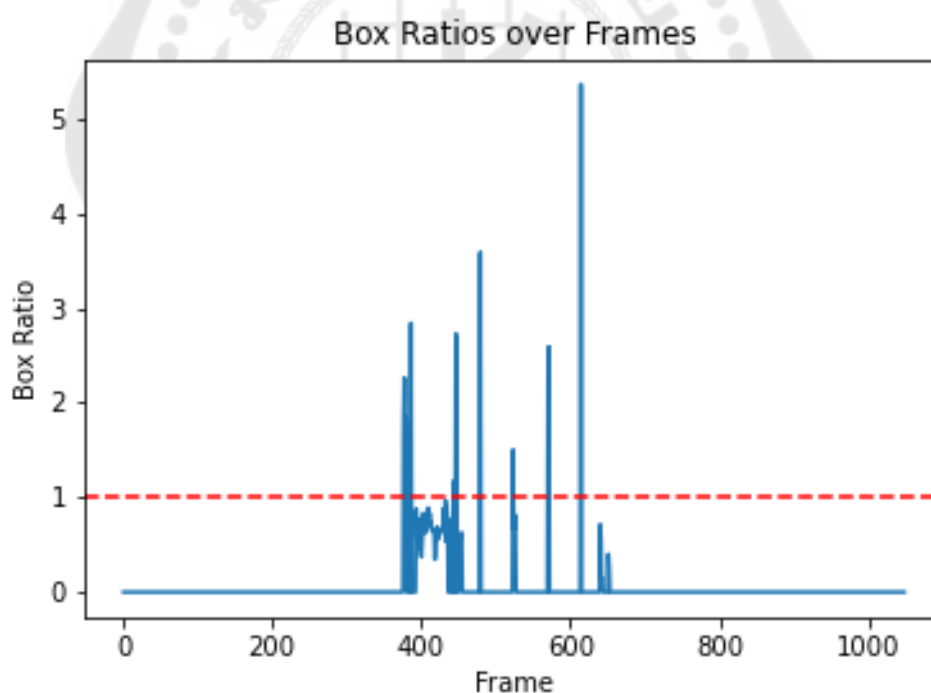
ภาพประกอบ 80 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 4 กล้องที่ 1

ตาราง 25 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 4 กล้องที่ 1 (ครั้งที่ 1)

| วิธีการตรวจจับการล้ม  | ร้อยละจำนวน<br>เฟรมที่มีเดีย<br>ไปป์สามารถ<br>จับผู้ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|---|--|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขตสี่เหลี่ยม<br>รอบร่างกายมนุษย์ (Bounding<br>box)          | 9  | 0.18     | 0.18   | 0.93      | 0.31     |
| การเปลี่ยนแปลงองศาของ<br>ร่างกายเมื่อล้ม (มุมสะโพก-ข้อ<br>เท้า-เส้นพื้นดิน) | 9  | 0.93     | 0.91   | 0.97      | 0.94     |

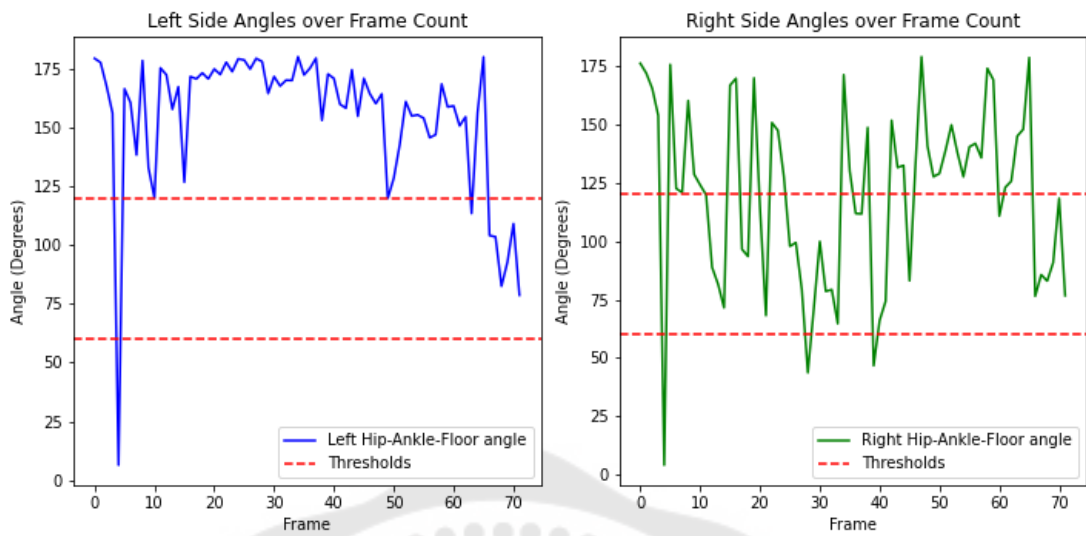
ตาราง 26 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 4 ครั้งที่ 1 (ครั้งที่ 2)

| วิธีการตรวจจับการล้ม  | ร้อยละจำนวนเฟรมที่มีเค้ไปป์สามารถจับผู้ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|---|---|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box)         | 0   | N/A      | N/A    | N/A       | N/A      |
| การเปลี่ยนแปลงองศาของร่างกายเมื่อล้ม (มุมสะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) | 0   | N/A      | N/A    | N/A       | N/A      |



ภาพประกอบ 81 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนของขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 4 ครั้งที่ 1 หมายเลข 1





ภาพประกอบ 82 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดรนใช้มุมมองสำรวจกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 4 กล้องที่ 1

#### 4.1.4.2 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 4 กล้องที่ 2



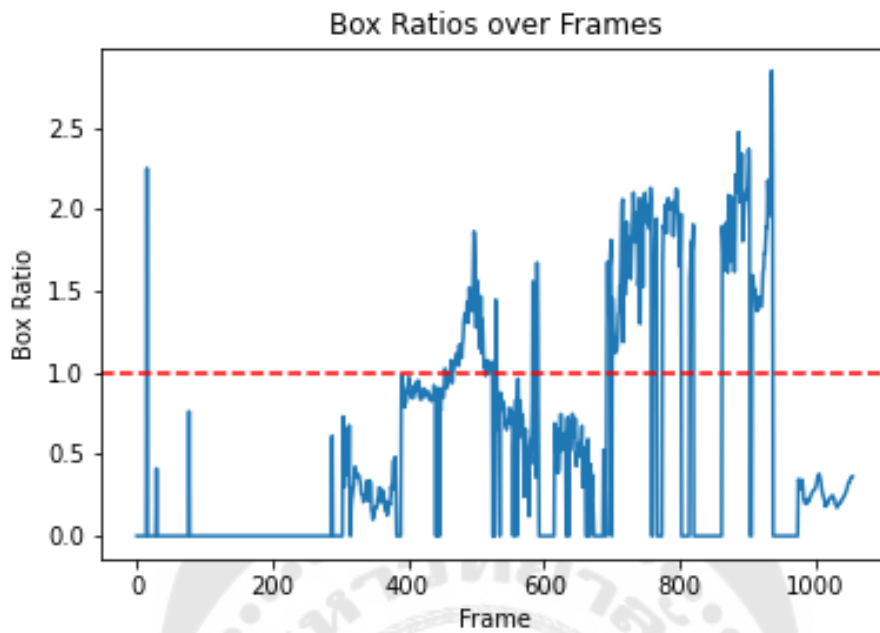
ภาพประกอบ 83 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 4 กล้องที่ 2

ตาราง 27 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 4 ครั้งที่ 2 (ครั้งที่ 1)

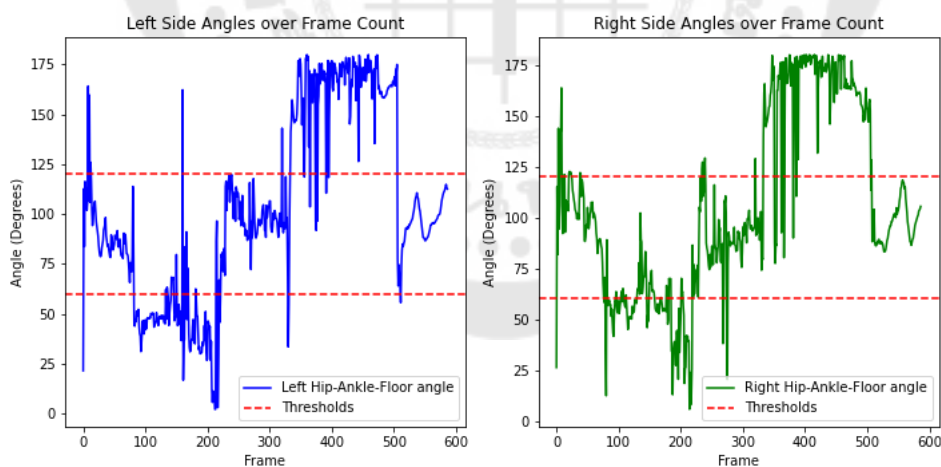
| วิธีการตรวจจับการล้ม  | ร้อยละจำนวน<br>เฟรมที่มีเค้ไปป์<br>สามารถจับผู้<br>ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|---|---|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขต<br>สี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์<br>(Bounding box)          | 40.52   | 0.46     | 0.27   | 0.98      | 0.42     |
| การเปลี่ยนแปลงองศา<br>ของร่างกายเมื่อล้ม (มุม<br>สะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) | 40.52   | 0.83     | 0.88   | 0.86      | 0.87     |

ตาราง 28 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 4 ครั้งที่ 2 (ครั้งที่ 2)

| วิธีการตรวจจับการล้ม  | ร้อยละจำนวน<br>เฟรมที่มีเค้ไปป์<br>สามารถจับผู้<br>ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|---|---|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขต<br>สี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์<br>(Bounding box)          | 71.15   | 0.97     | 0.95   | 1         | 0.98     |
| การเปลี่ยนแปลงองศา<br>ของร่างกายเมื่อล้ม (มุม<br>สะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) | 71.15   | 0.73     | 0.66   | 1         | 0.79     |



ภาพประกอบ 84 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 4 กล้องหมายเลข 2



ภาพประกอบ 85 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 4 กล้องที่ 2

## 4.1.4.3 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 4 ครั้งที่ 3



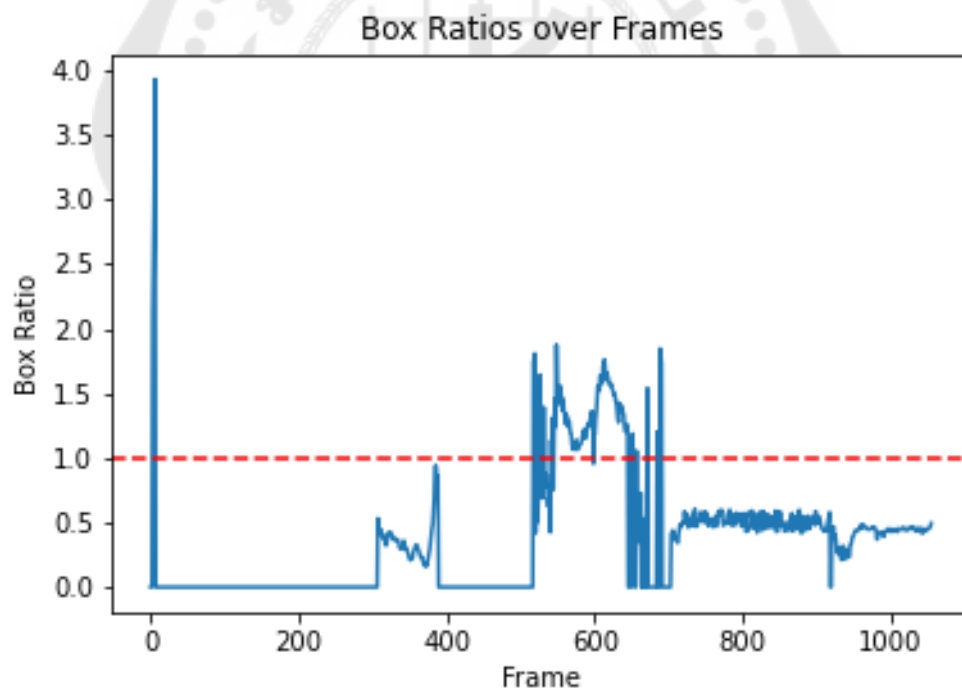
ภาพประกอบ 86 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 4 ครั้งที่ 3

ตาราง 29 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 4 ครั้งที่ 3 (ครั้งที่ 1)

| วิธีการตรวจจับการล้ม   | ร้อยละจำนวน<br>เฟรมที่มีหายไป<br>สามารถจับผู้<br>ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|--|---|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขต<br>สี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์<br>(Bounding box)             | 60.26   | 0.85     | 0.79   | 0.97      | 0.87     |
| การเปลี่ยนแปลงองศามุม<br>ของร่างกายเมื่อล้ม (มุม<br>สะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) | 60.26   | 0.66     | 0.69   | 0.74      | 0.72     |

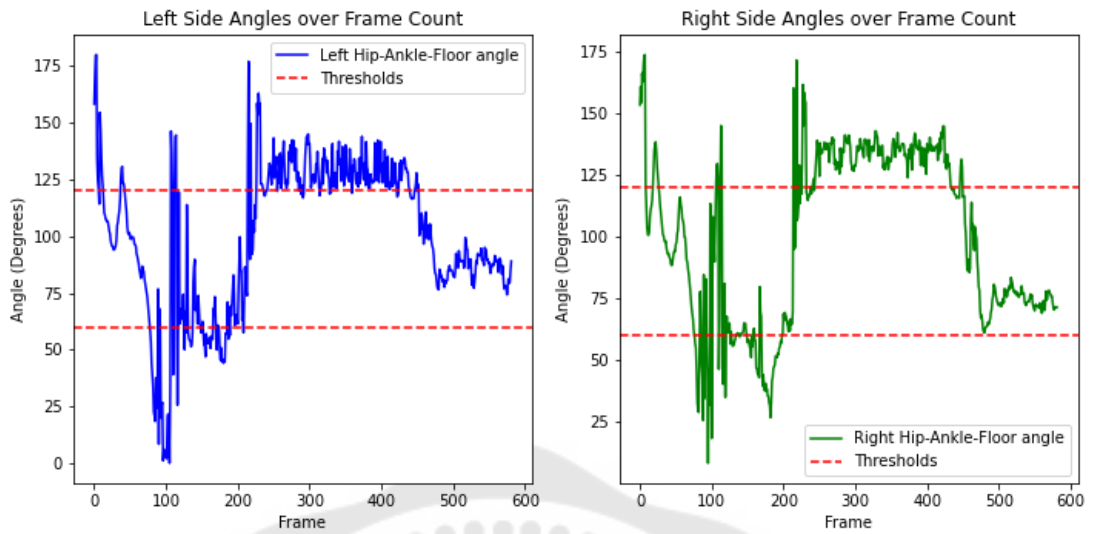
ตาราง 30 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 4 ครั้งที่ 3 (ครั้งที่ 2)

| วิธีการตรวจจับการล้ม  | ร้อยละจำนวนเฟรมที่มีเค้ไปป์สามารถจับผู้ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|---|---|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box)         | 96.15   | 0.20     | 0.00   | N/A       | N/A      |
| การเปลี่ยนแปลงองศาของร่างกายเมื่อล้ม (มุมสะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) | 96.15   | 0.80     | 0.75   | 1         | 0.86     |



ภาพประกอบ 87 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนของขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 4 ครั้งที่ 3 หมายเลข 3





ภาพประกอบ 88 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดรนใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 4 กล้องที่ 3

#### 4.1.4.4 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 4 กล้องที่ 4



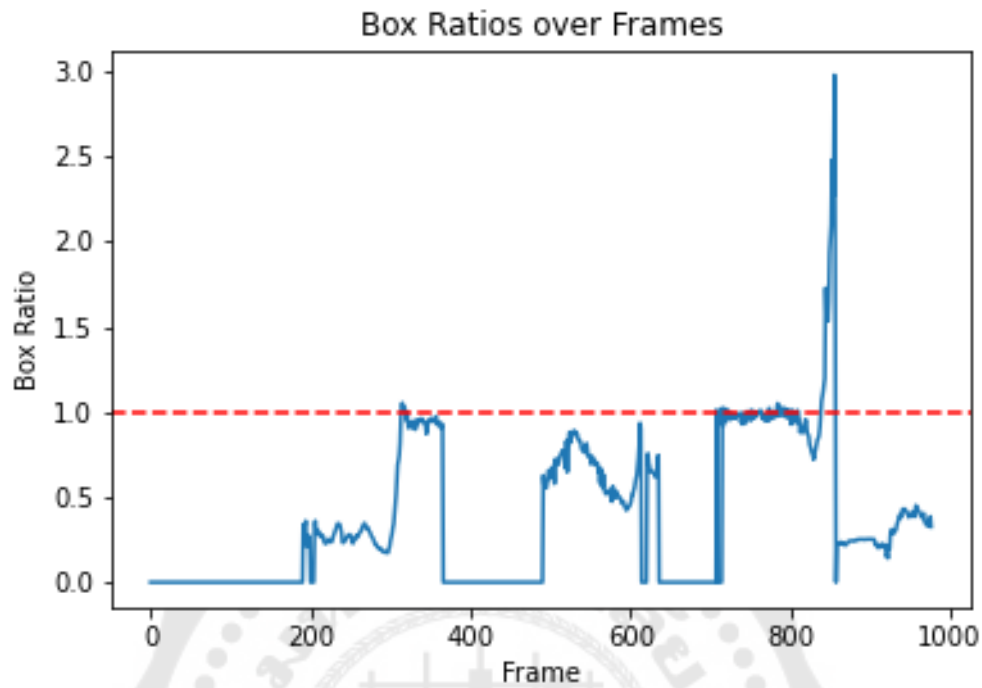
ภาพประกอบ 89 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 4 กล้องที่ 4

ตาราง 31 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 4 ครั้งที่ 4 (ครั้งที่ 1)

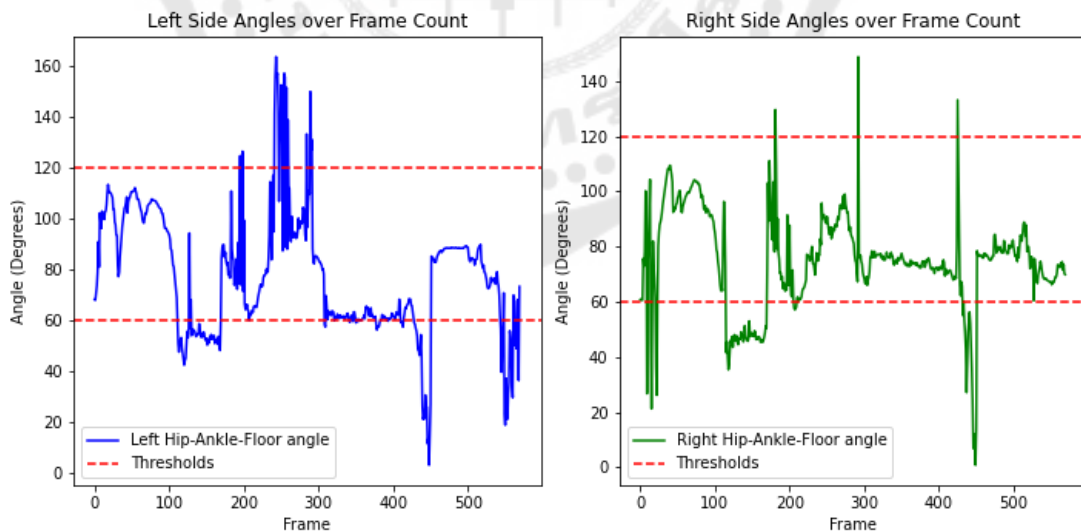
| วิธีการตรวจจับการล้ม  | ร้อยละจำนวน<br>เฟรมที่มีเดียไปป์<br>สามารถจับผู้<br>ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|---|--|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขต<br>สี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์<br>(Bounding box)              | 67.92  | 0.31     | 0.03   | 1         | 0.05     |
| การเปลี่ยนแปลงของศามุม<br>ของร่างกายเมื่อล้ม (มุม<br>สะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) | 67.92  | 0.60     | 0.44   | 1         | 0.61     |

ตาราง 32 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 4 ครั้งที่ 4 (ครั้งที่ 2)

| วิธีการตรวจจับการล้ม  | ร้อยละจำนวน<br>เฟรมที่มีเดียไปป์<br>สามารถจับผู้<br>ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|---|--|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขต<br>สี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์<br>(Bounding box)              | 76.73  | 0.44     | 0.22   | 1         | 0.36     |
| การเปลี่ยนแปลงของศามุม<br>ของร่างกายเมื่อล้ม (มุม<br>สะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) | 76.73  | 0.36     | 0.24   | 0.84      | 0.48     |



ภาพประกอบ 90 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 4 กล้องหมายเลข 4



ภาพประกอบ 91 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 4 กล้องที่ 4

## 4.1.4.5 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 4 กล้องที่ 5



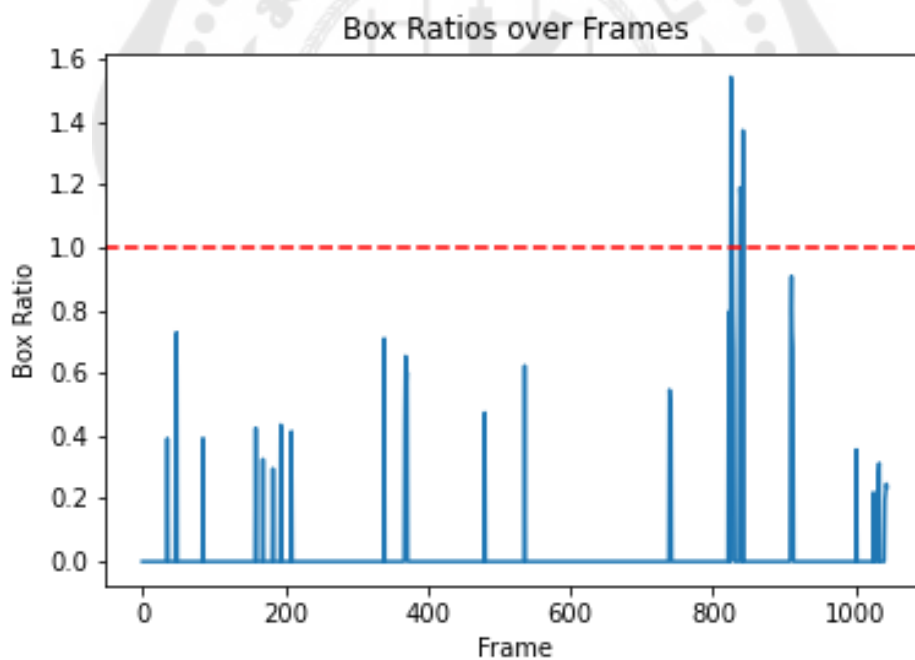
ภาพประกอบ 92 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 4 กล้องที่ 5

ตาราง 33 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 4 กล้องที่ 5 (ครั้งที่ 1)

| วิธีการตรวจจับการล้ม  | ร้อยละจำนวน<br>เฟรมที่มีเค้ไปป์<br>สามารถจับผู้<br>ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|---|---|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขต<br>สีเหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์<br>(Bounding box)               | 1.52  | 0.71     | 0.00   | N/A       | N/A      |
| การเปลี่ยนแปลงองศาหมุน<br>ของร่างกายเมื่อล้ม (มุม<br>สะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) | 1.52  | 0.20     | N/A    | N/A       | N/A      |

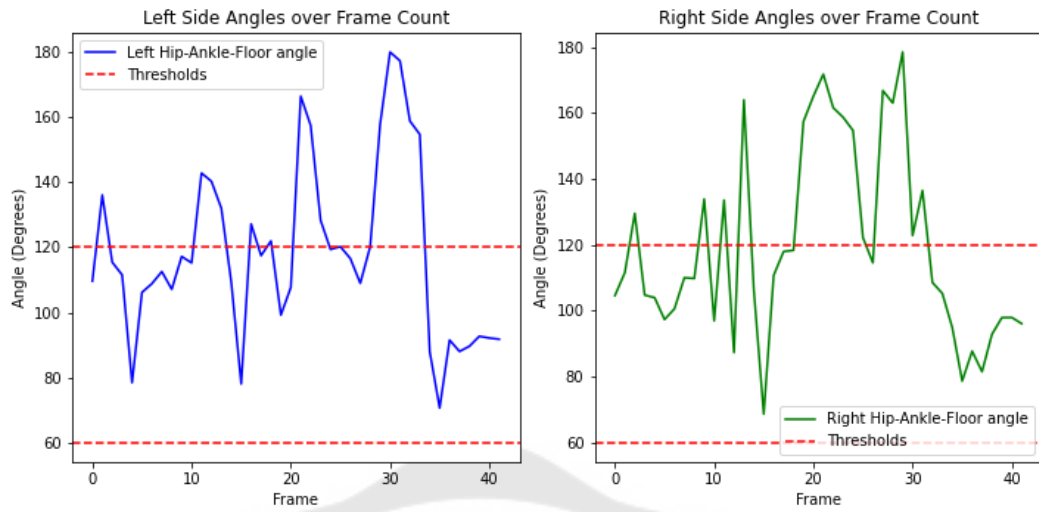
ตาราง 34 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 4 ครั้งที่ 5 (ครั้งที่ 2)

| วิธีการตรวจจับการล้ม  | ร้อยละจำนวนเฟรมที่มีเคย์ไปป์สามารถจับผู้ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|---|--|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box)         | 8.72   | 0.54     | 0.33   | 1         | 0.5      |
| การเปลี่ยนแปลงองศาของร่างกายเมื่อล้ม (มุมสะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) | 8.72   | 0.86     | 0.80   | 1         | 0.89     |



ภาพประกอบ 93 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนของขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 4 ครั้งที่ 5





ภาพประกอบ 94 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดรนใช้มุมมองสกร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 4

#### กล่องที่ 5

#### 4.1.4.6 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 4 กล่องที่ 6



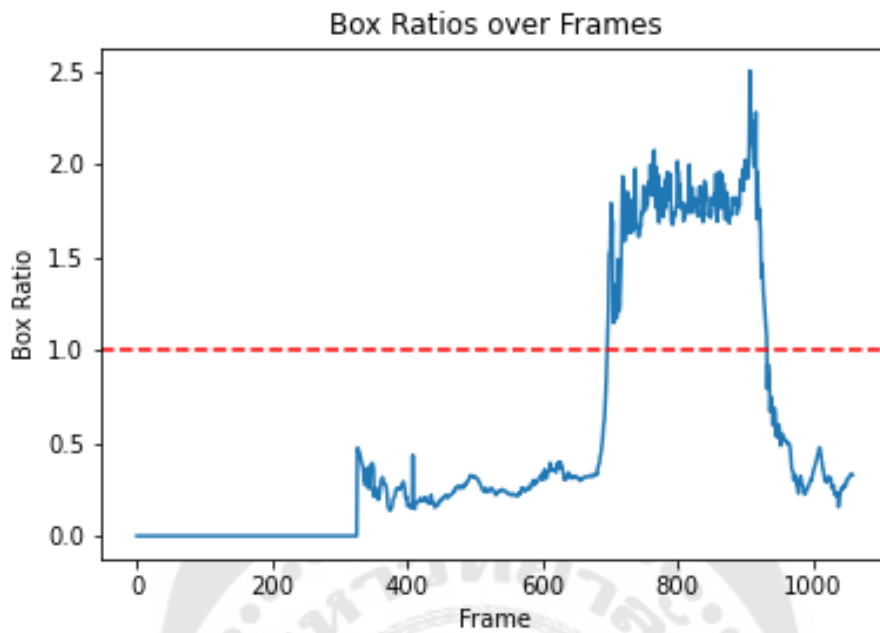
ภาพประกอบ 95 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 4 กล่องที่ 6

ตาราง 35 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 4 ครั้งที่ 6 (ครั้งที่ 1)

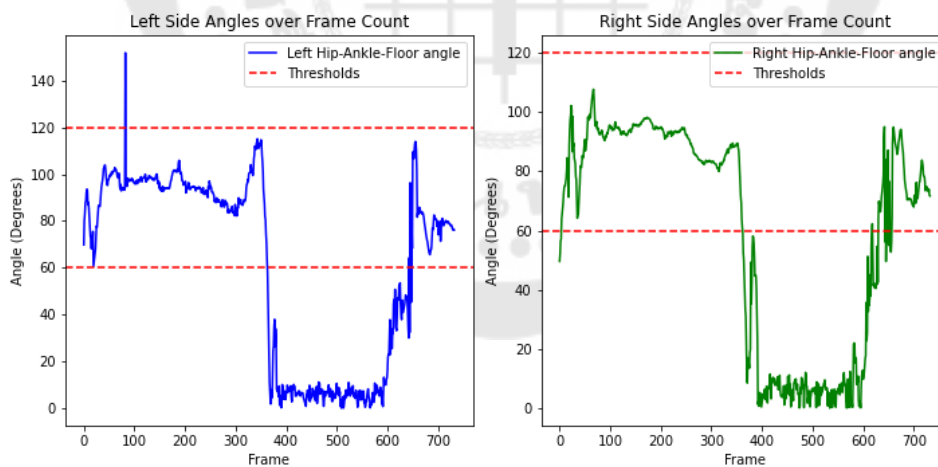
| วิธีการตรวจจับการล้ม  | ร้อยละจำนวน<br>เฟรมที่มีเดียไปป์<br>สามารถจับผู้<br>ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|---|--|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขต<br>สี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์<br>(Bounding box)              | 98.64  | 0.17     | 0.00   | N/A       | N/A      |
| การเปลี่ยนแปลงของศามุม<br>ของร่างกายเมื่อล้ม (มุม<br>สะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) | 98.64  | 0.16     | 0.00   | 0.20      | 0.01     |

ตาราง 36 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 4 ครั้งที่ 6 (ครั้งที่ 2)

| วิธีการตรวจจับการล้ม  | ร้อยละจำนวน<br>เฟรมที่มีเดียไปป์<br>สามารถจับผู้<br>ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|---|--|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขต<br>สี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์<br>(Bounding box)              | 100  | 0.85     | 0.81   | 1         | 0.89     |
| การเปลี่ยนแปลงของศามุม<br>ของร่างกายเมื่อล้ม (มุม<br>สะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) | 100  | 0.99     | 0.98   | 1         | 0.99     |

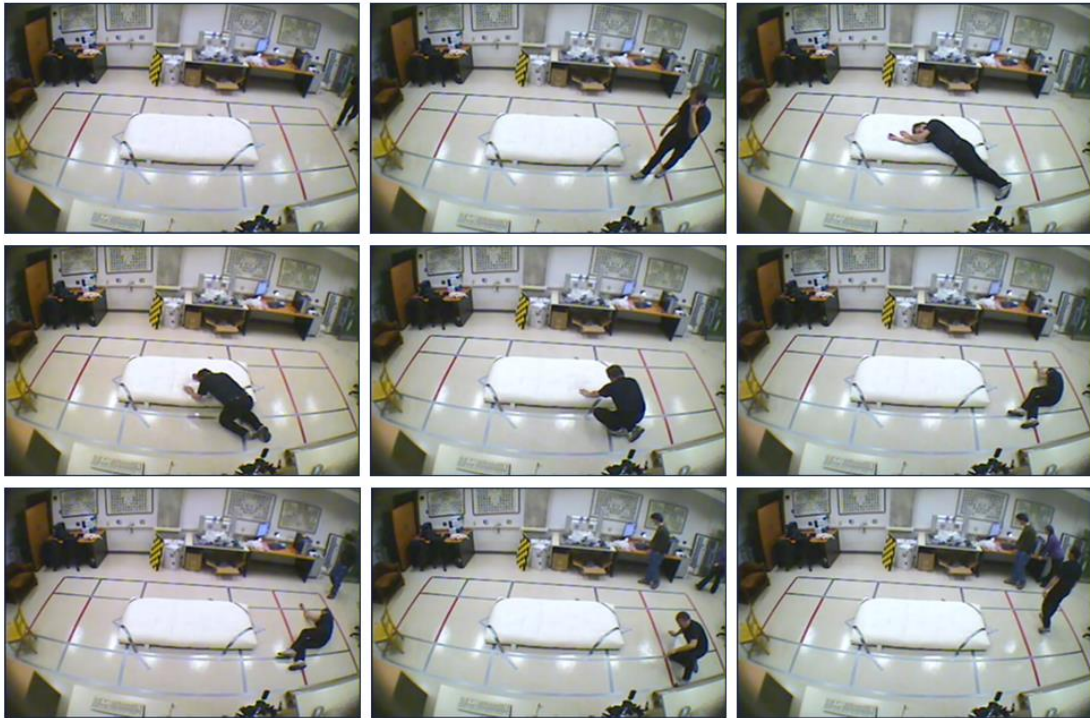


ภาพประกอบ 96 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 4 กล้องหมายเลข 6



ภาพประกอบ 97 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 4 กล้องที่ 6

## 4.1.4.7 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 4 กล้องที่ 7



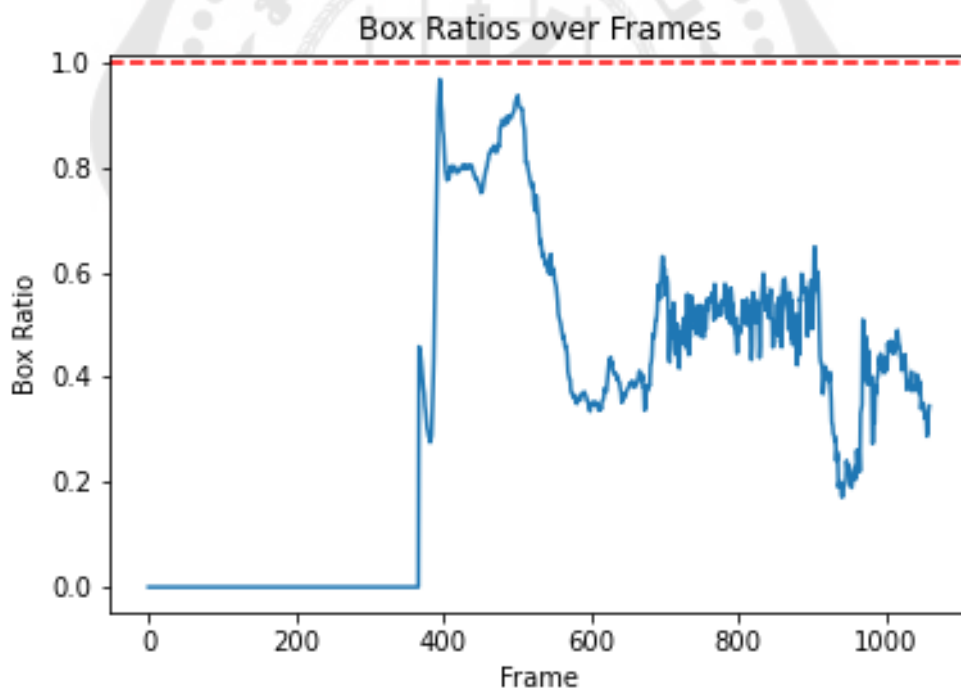
ภาพประกอบ 98 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 4 กล้องที่ 7

ตาราง 37 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 4 กล้องที่ 7 (ครั้งที่ 1)

| วิธีการตรวจจับการล้ม  | ร้อยละจำนวน<br>เฟรมที่มีเค้ไป<br>สามารถจับผู้<br>ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|---|---|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขต<br>สี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์<br>(Bounding box)          | 91.29   | 0.06     | 0.00   | N/A       | N/A      |
| การเปลี่ยนแปลงองศา<br>ของร่างกายเมื่อล้ม (มุม<br>สะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) | 91.29   | 0.52     | 0.50   | 0.97      | 0.66     |

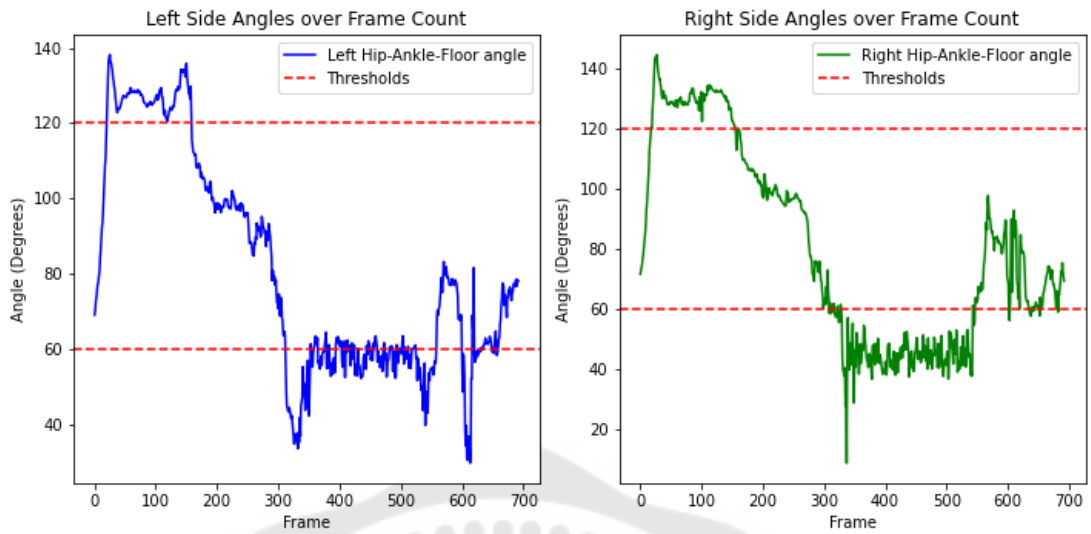
ตาราง 38 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 4 ครั้งที่ 7 (ครั้งที่ 2)

| วิธีการตรวจจับการล้ม  | ร้อยละจำนวนเฟรมที่มีเค้ไปป์สามารถจับผู้ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|---|---|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box)         | 100   | 0.23     | 0.00   | N/A       | N/A      |
| การเปลี่ยนแปลงองศาของร่างกายเมื่อล้ม (มุมสะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) | 100   | 0.80     | 0.85   | 0.89      | 0.87     |



ภาพประกอบ 99 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนของขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 4 ครั้งที่ 7 หมายเลข 7





ภาพประกอบ 100 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 4 กล้องที่ 7

4.1.4.8 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 4 กล้องที่ 8



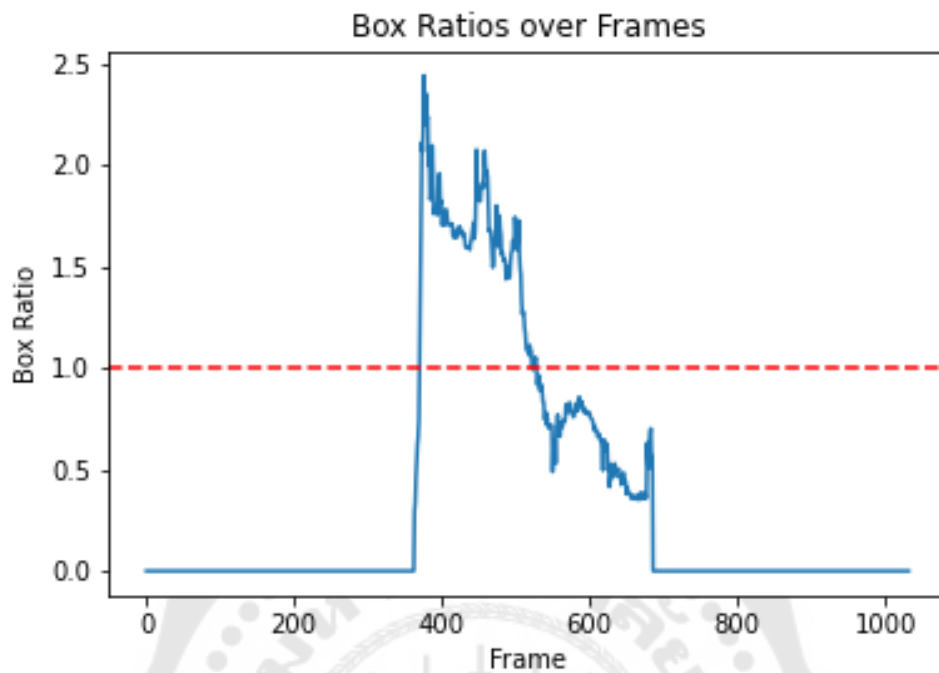
ภาพประกอบ 101 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 4 กล้องที่ 8

ตาราง 39 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 4 ครั้งที่ 8 (ครั้งที่ 1)

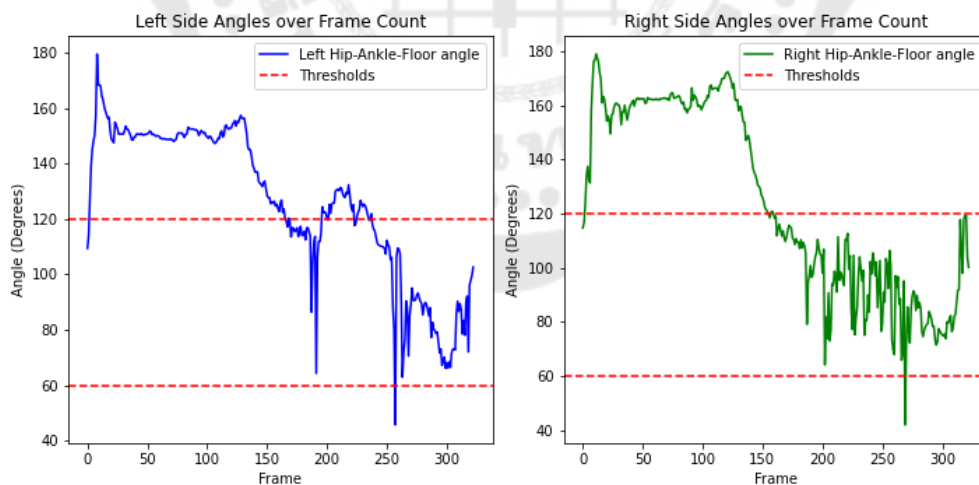
| วิธีการตรวจจับการล้ม  | ร้อยละจำนวน<br>เฟรมที่มีเค้ไปป์<br>สามารถจับผู้<br>ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|---|---|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขต<br>สี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์<br>(Bounding box)              | 67.32   | 0.54     | 0.53   | 1         | 0.69     |
| การเปลี่ยนแปลงของศามุม<br>ของร่างกายเมื่อล้ม (มุม<br>สะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) | 67.32   | 0.64     | 0.64   | 0.98      | 0.77     |

ตาราง 40 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 4 ครั้งที่ 8 (ครั้งที่ 2)

| วิธีการตรวจจับการล้ม  | ร้อยละจำนวน<br>เฟรมที่มีเค้ไปป์<br>สามารถจับผู้<br>ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|---|---|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขต<br>สี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์<br>(Bounding box)              | 4.42  | 0.21     | 0.00   | N/A       | N/A      |
| การเปลี่ยนแปลงของศามุม<br>ของร่างกายเมื่อล้ม (มุม<br>สะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) | 4.42  | 0.00     | 0.00   | N/A       | N/A      |



ภาพประกอบ 102 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 4 กล้องหมายเลข 8

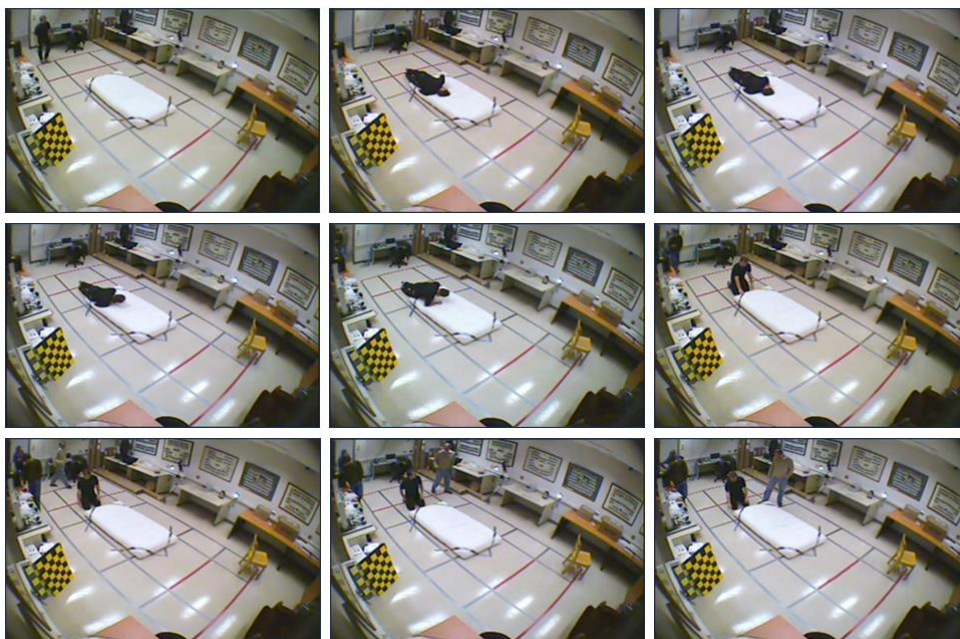


ภาพประกอบ 103 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 4 กล้องที่ 8

#### 4.1.5 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 5

สถานการณ์นี้ เป็นสถานการณ์ที่ผู้ทดลอง เดินเข้ามาจากประตูทางเข้า มายังขอบฟูกกลางห้อง สะดุดล้มไปด้านหน้าลงบนฟูก แล้วจึงใช้ข้อศอกค้ำยันร่างกายขึ้นมา และนั่งในท่าคุกเข่า

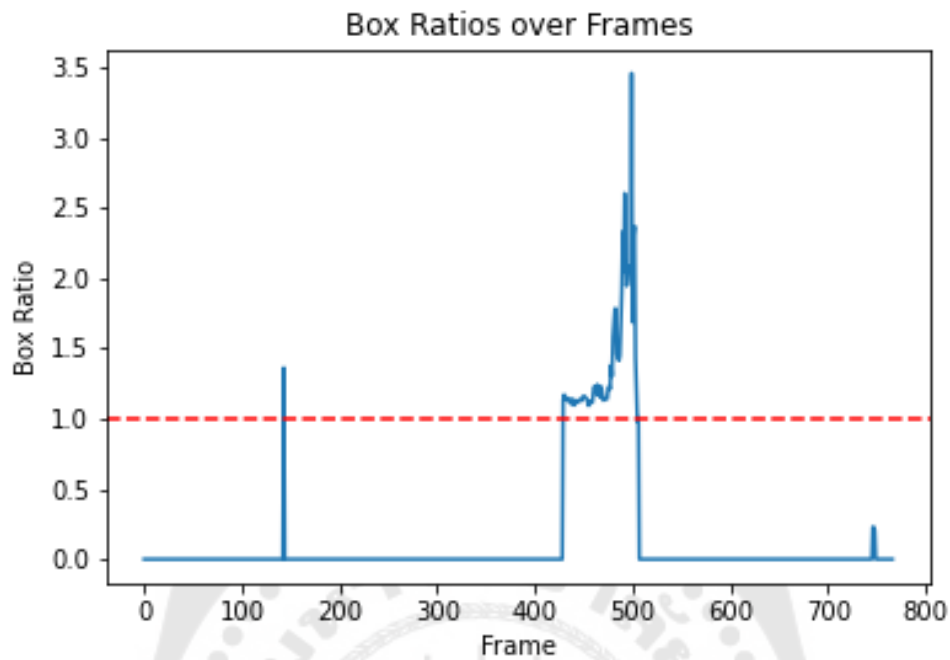
##### 4.1.5.1 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 5 กล้องที่ 1



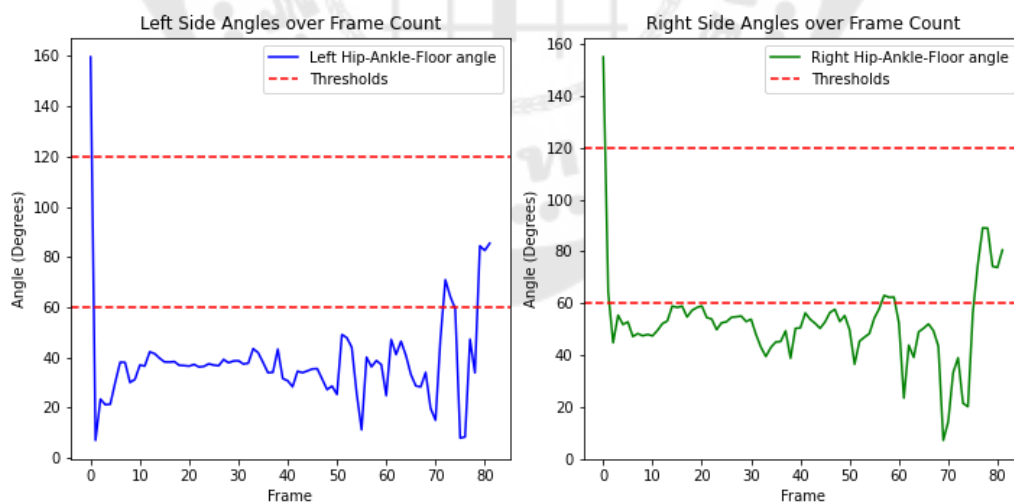
ภาพประกอบ 104 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 5 กล้องที่ 1

ตาราง 41 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 5 กล้องที่ 1

| วิธีการตรวจจับการล้ม   | ร้อยละจำนวนเฟรมที่มีเค้ไปป์สามารถจับผู้ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|--|---|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box)            | 15.58   | 0.95     | 0.95   | 1         | 0.97     |
| การเปลี่ยนแปลงองศามุมของร่างกายเมื่อล้ม (มุมสะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) | 15.58   | 0.96     | 0.96   | 1         | 0.98     |



ภาพประกอบ 105 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 5 กล้องหมายเลข 1



ภาพประกอบ 106 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 5 กล้องที่ 1



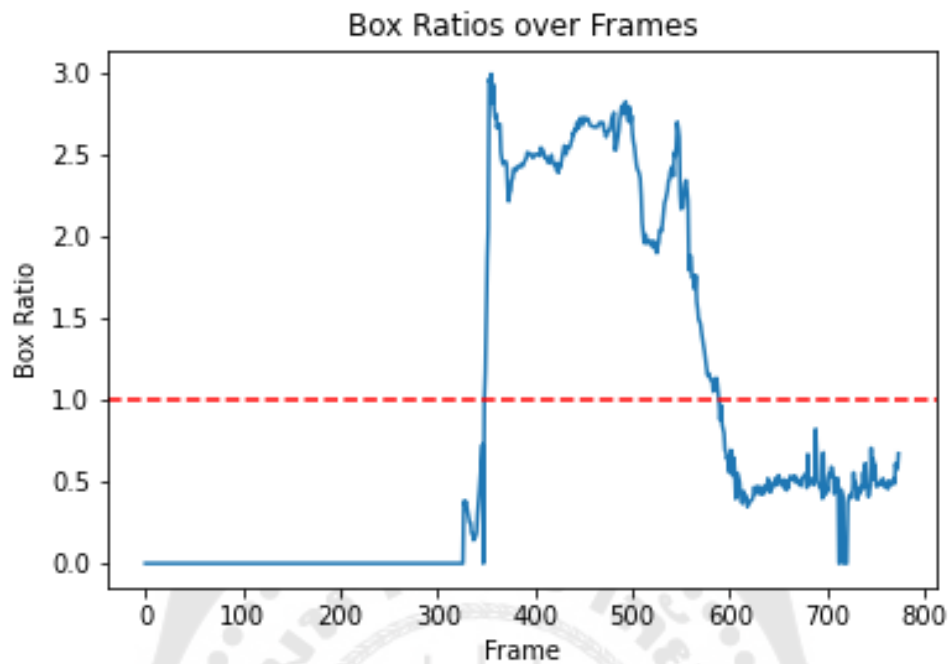
## 4.1.5.2 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 5 กล้องที่ 2



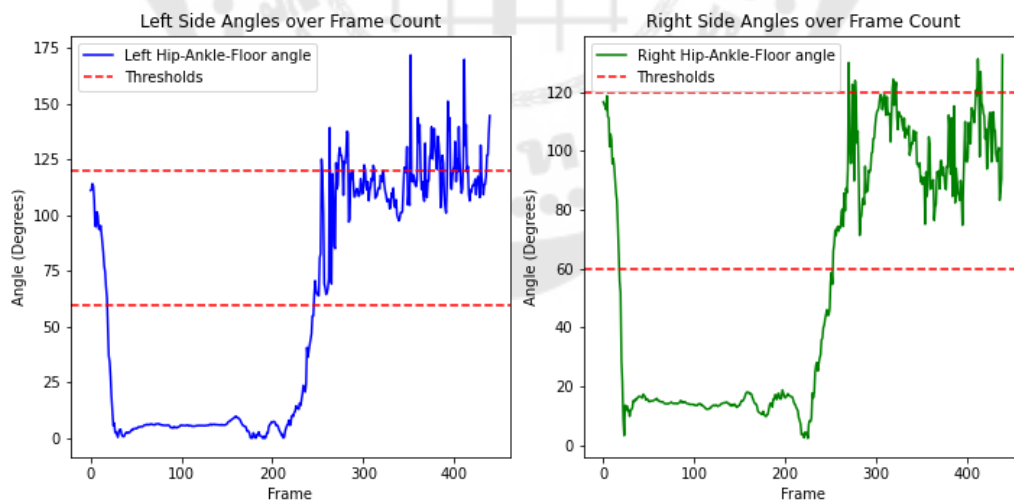
ภาพประกอบ 107 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 5 กล้องที่ 2

ตาราง 42 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 5 กล้องที่ 2

| วิธีการตรวจจับการล้ม   | ร้อยละจำนวน<br>เฟรมที่มีหายไป<br>สามารถจับผู้<br>ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|--|---|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขต<br>สี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์<br>(Bounding box)             | 98  | 0.59     | 0.57   | 1         | 0.73     |
| การเปลี่ยนแปลงองศามุม<br>ของร่างกายเมื่อล้ม (มุม<br>สะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) | 98  | 0.71     | 0.70   | 1         | 0.82     |



ภาพประกอบ 108 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 5 กล้องหมายเลข 2



ภาพประกอบ 109 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองสร้างร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 5

กล้องที่ 2

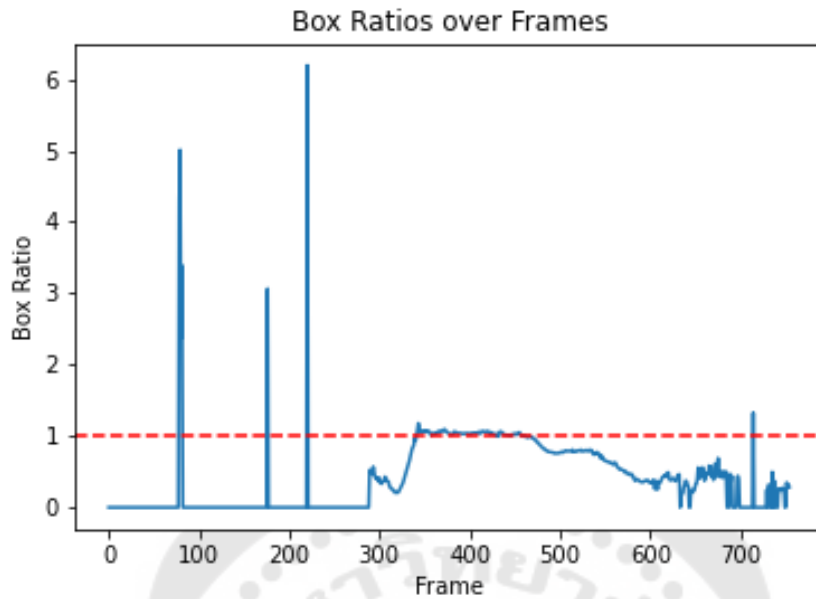
## 4.1.5.3 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 5 กล้องที่ 3



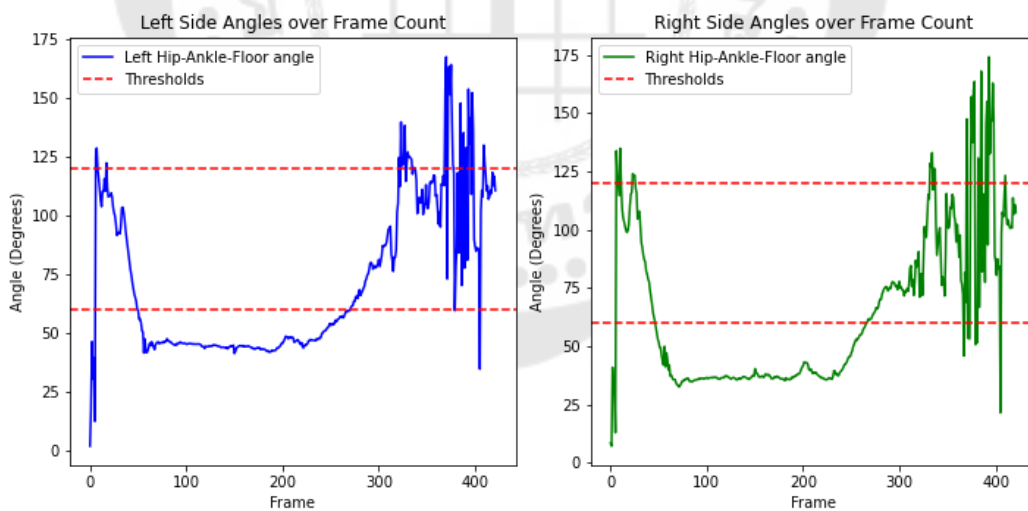
ภาพประกอบ 110 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 5 กล้องที่ 3

ตาราง 43 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 5 กล้องที่ 3

| วิธีการตรวจจับการล้ม  | ร้อยละจำนวน<br>เฟรมที่มีหายไป<br>สามารถจับผู้<br>ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|---|---|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขต<br>สี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์<br>(Bounding box)              | 90.94   | 0.38     | 0.32   | 0.95      | 0.47     |
| การเปลี่ยนแปลงองศาหมุน<br>ของร่างกายเมื่อล้ม (มุม<br>สะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) | 90.94   | 0.71     | 0.71   | 0.95      | 0.81     |



ภาพประกอบ 111 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 5 กล้องหมายเลข 3



ภาพประกอบ 112 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 5 กล้องที่ 3



## 4.1.5.4 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 5 ครั้งที่ 4

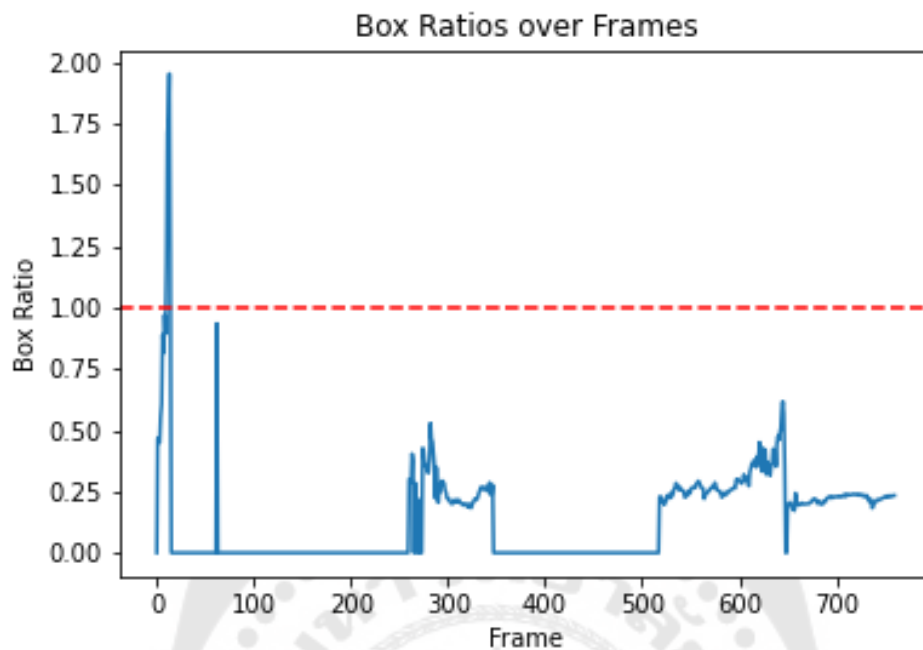


ภาพประกอบ 113 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 5 ครั้งที่ 4

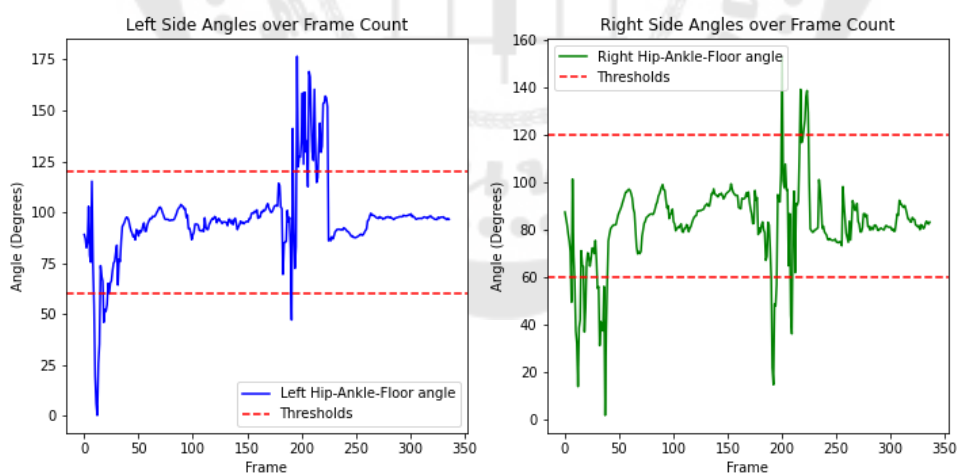
ตาราง 44 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 5 ครั้งที่ 4

| วิธีการตรวจจับการล้ม  | ร้อยละจำนวน<br>เฟรมที่มีเค้ไป<br>สามารถจับผู้<br>ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|---|---|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขต<br>สี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์<br>(Bounding box)              | 63.6  | 0.17     | 0.00   | N/A       | N/A      |
| การเปลี่ยนแปลงองศาหมุน<br>ของร่างกายเมื่อล้ม (มุม<br>สะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) | 63.6  | 0.26     | 0.13   | 0.82      | 0.22     |





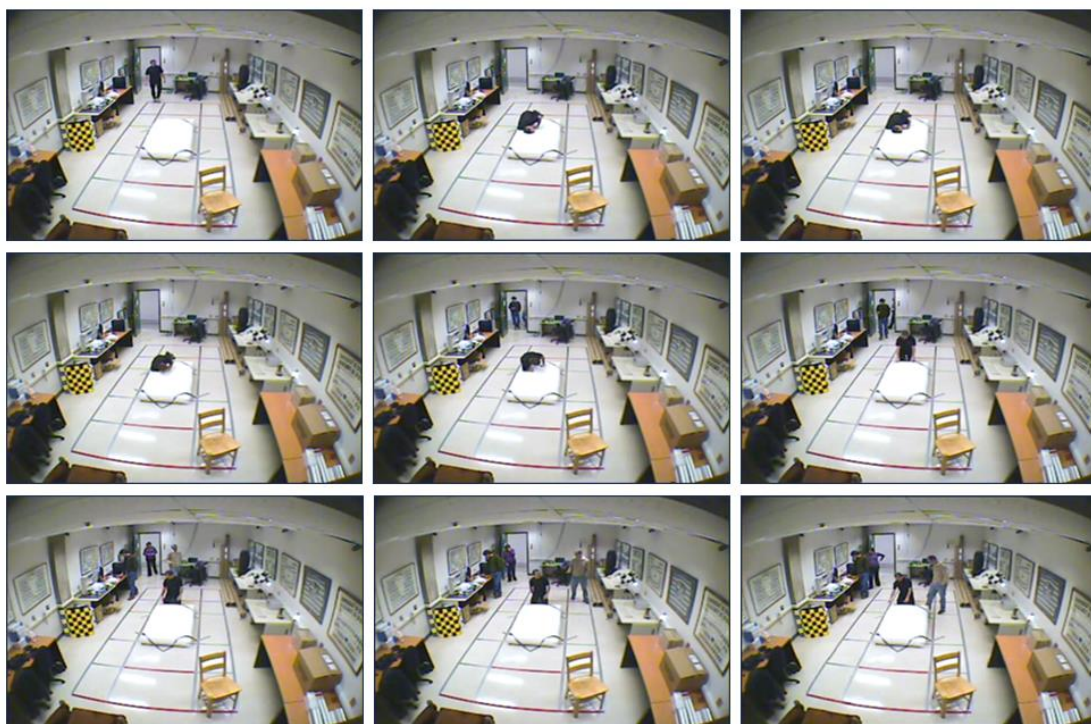
ภาพประกอบ 114 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 5 กล้องหมายเลข 4



ภาพประกอบ 115 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 5

กล้องที่ 4

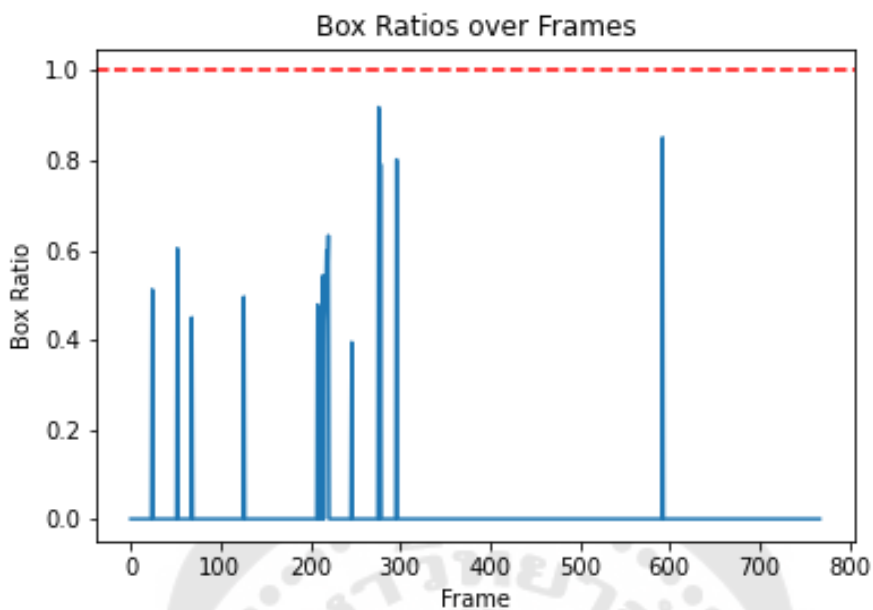
## 4.1.5.5 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 5 กล้องที่ 5



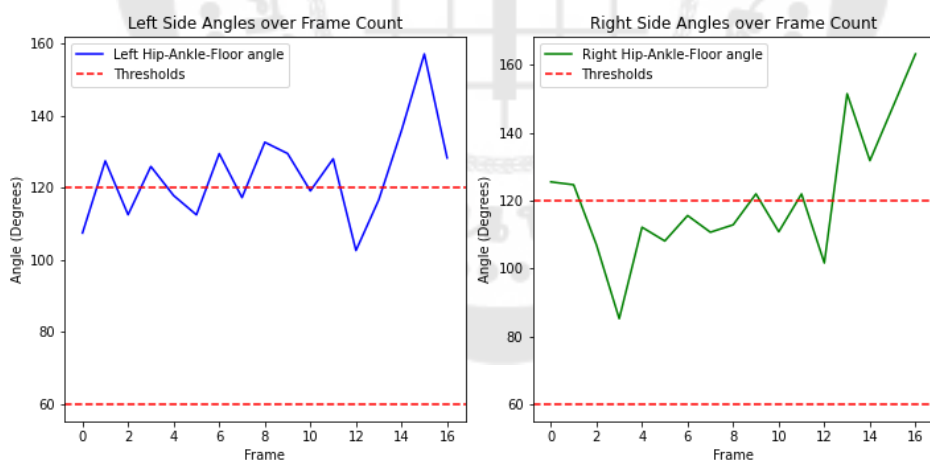
ภาพประกอบ 116 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 5 กล้องที่ 5

ตาราง 45 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 5 กล้องที่ 5

| วิธีการตรวจจับการล้ม  | ร้อยละจำนวน<br>เฟรมที่มีเค้ไปป์<br>สามารถจับผู้<br>ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|---|---|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขต<br>สี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์<br>(Bounding box)              | 2.2   | 0.92     | 0.00   | N/A       | N/A      |
| การเปลี่ยนแปลงองศาหมุน<br>ของร่างกายเมื่อล้ม (มุม<br>สะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) | 2.2   | 0.42     | 1      | 0.13      | 0.22     |



ภาพประกอบ 117 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 5 กล้องหมายเลข 5



ภาพประกอบ 118 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 5 กล้องที่ 5

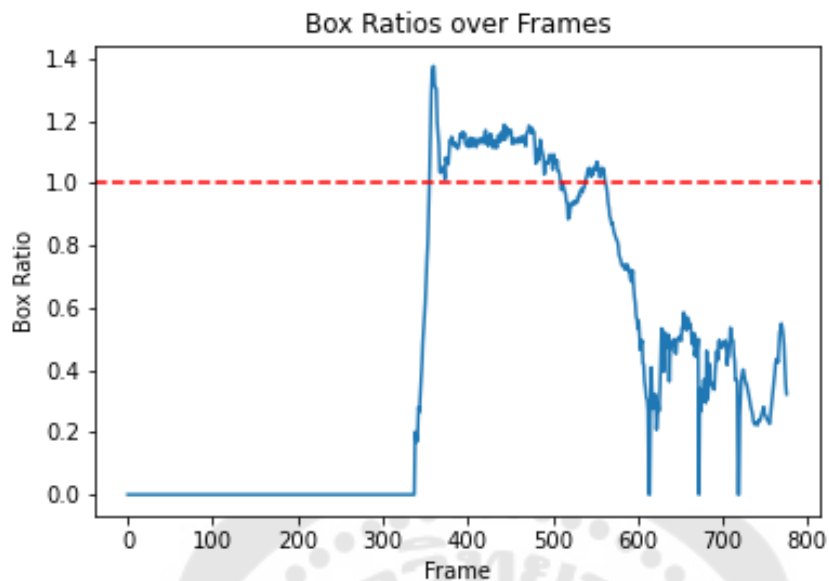
## 4.1.5.6 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 5 ครั้งที่ 6



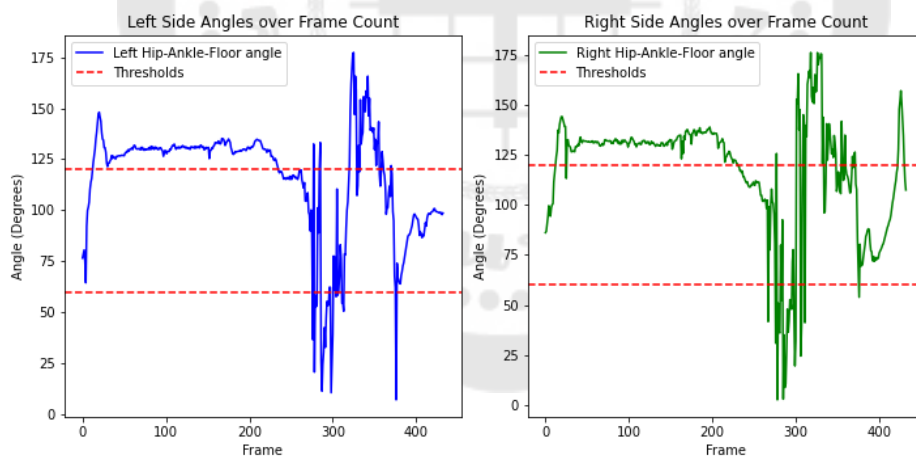
ภาพประกอบ 119 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 5 ครั้งที่ 6

ตาราง 46 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 5 ครั้งที่ 6

| วิธีการตรวจจับการล้ม   | ร้อยละจำนวน<br>เฟรมที่มีเคย์ไปป์<br>สามารถจับผู้<br>ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|--|--|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขต<br>สี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์<br>(Bounding box)             | 95.8   | 0.45     | 0.43   | 1         | 0.60     |
| การเปลี่ยนแปลงองศามุม<br>ของร่างกายเมื่อล้ม (มุม<br>สะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) | 95.8   | 0.75     | 0.75   | 0.99      | 0.85     |



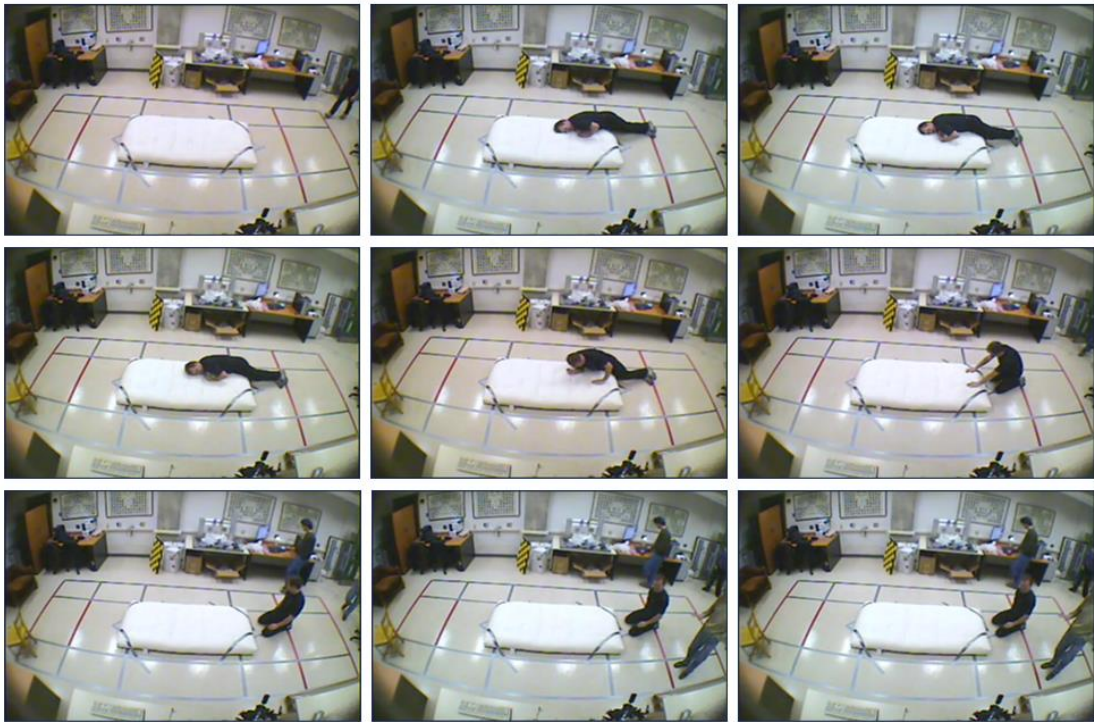
ภาพประกอบ 120 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 5 กล้องหมายเลข 6



ภาพประกอบ 121 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 5 กล้องที่ 6



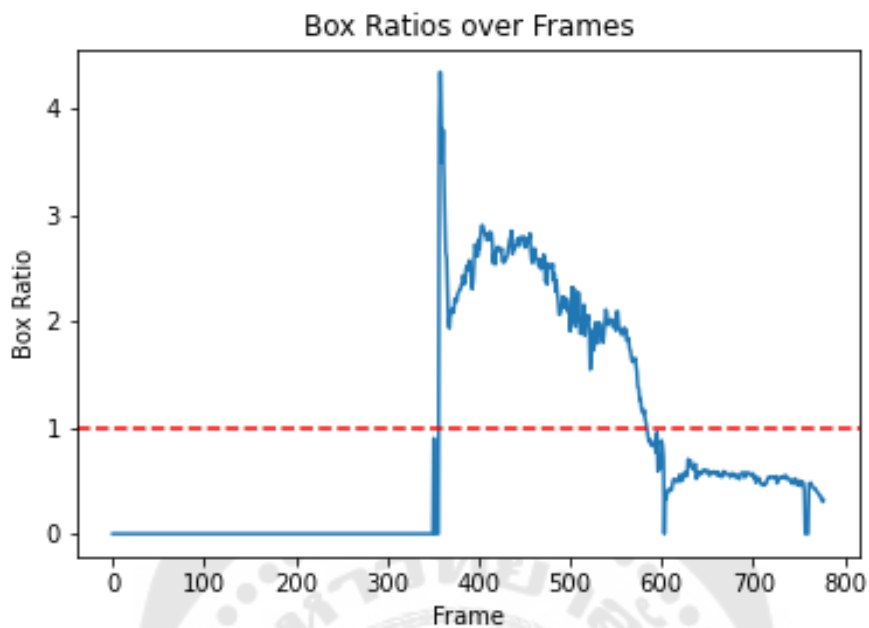
## 4.1.5.7 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 5 กล้องที่ 7



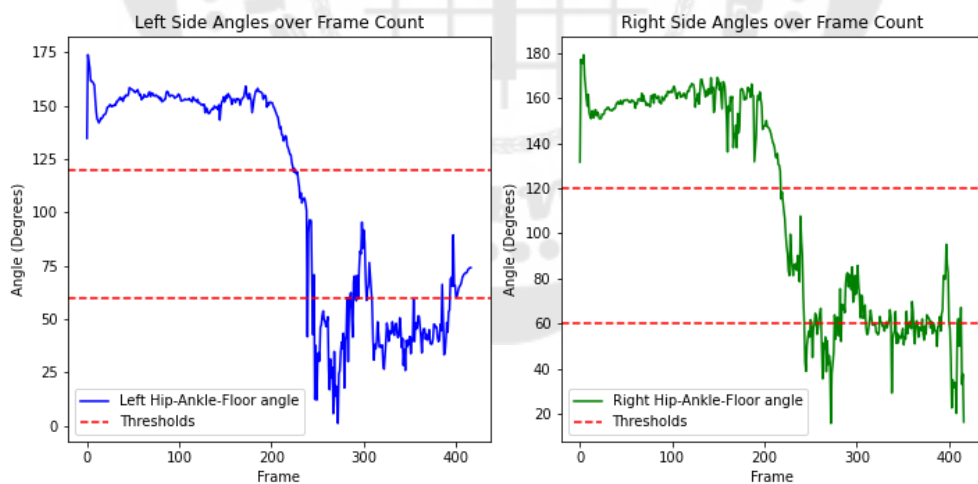
ภาพประกอบ 122 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 5 กล้องที่ 7

ตาราง 47 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 5 กล้องที่ 7

| วิธีการตรวจจับการล้ม   | ร้อยละจำนวน<br>เฟรมที่มีหายไป<br>สามารถจับผู้<br>ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|--|---|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขต<br>สี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์<br>(Bounding box)               | 88.53   | 0.55     | 0.55   | 1         | 0.71     |
| การเปลี่ยนแปลงของสามมุม<br>ของร่างกายเมื่อล้ม (มุม<br>สะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) | 88.53   | 0.89     | 0.89   | 1         | 0.94     |

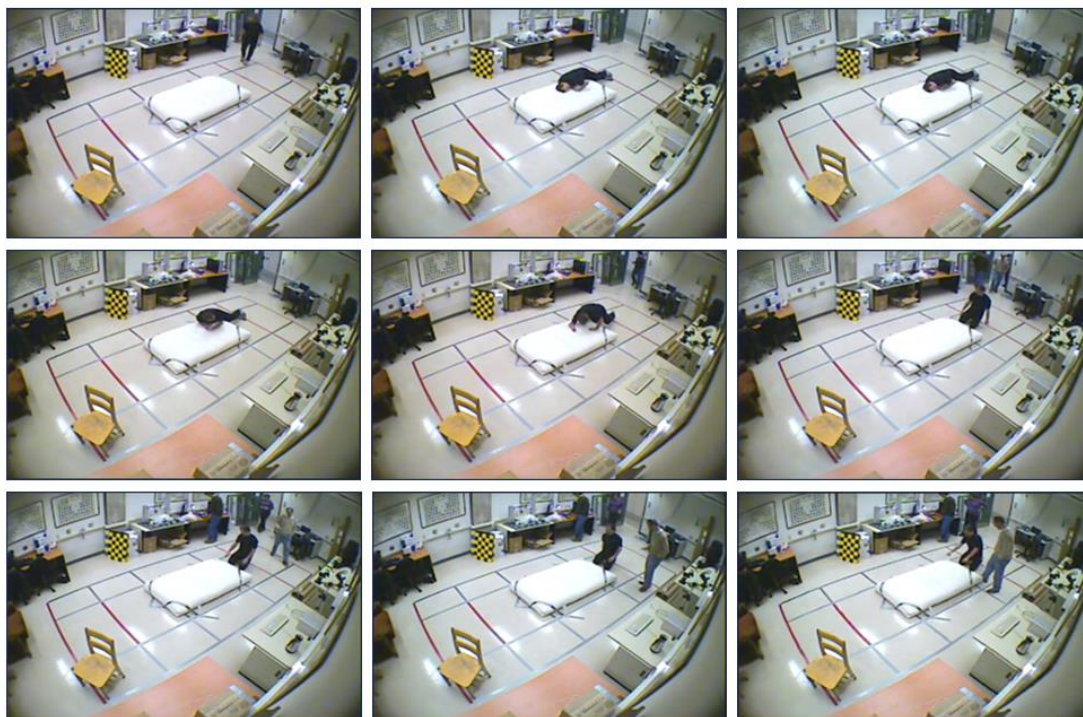


ภาพประกอบ 123 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 5 กล้องหมายเลข 7



ภาพประกอบ 124 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 5 กล้องที่ 7

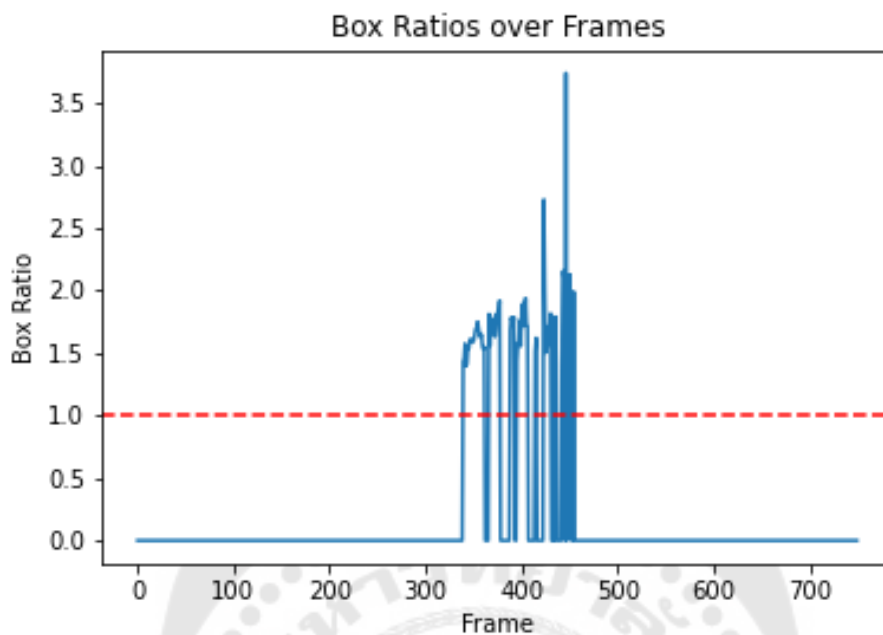
## 4.1.5.8 ผลการทดลอง ของสถานการณ์ที่ 5 กล้องที่ 8



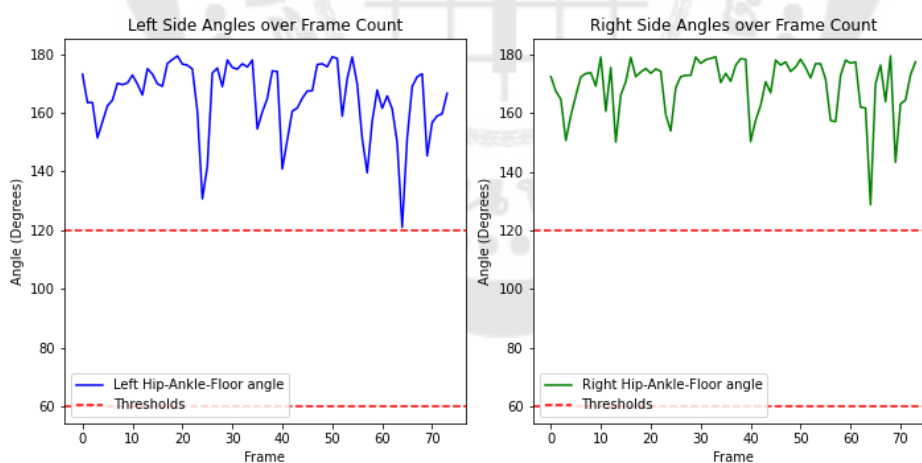
ภาพประกอบ 125 ลำดับภาพจากสถานการณ์ที่ 5 กล้องที่ 8

ตาราง 48 ผลการทดลองจากสถานการณ์ที่ 5 กล้องที่ 8

| วิธีการตรวจจับการล้ม   | ร้อยละจำนวนเฟรมที่มีเค้ไปป์สามารถจับผู้ทดลองได้ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|--|---|----------|--------|-----------|----------|
| อัตราส่วนของขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box)            | 13.83   | 1        | 1      | 1         | 1        |
| การเปลี่ยนแปลงองศามุมของร่างกายเมื่อล้ม (มุมสะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) | 13.83   | 1        | 1      | 1         | 1        |



ภาพประกอบ 126 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้ม ของสถานการณ์ที่ 5 กล้องหมายเลข 8



ภาพประกอบ 127 แสดงผลลัพธ์การตรวจจับการล้มโดยใช้โดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) เป็นเกณฑ์ในการตรวจจับการล้มทั้งด้านซ้ายและขวา ของสถานการณ์ที่ 5 กล้องที่ 8



ตาราง 49 ค่าเฉลี่ย Accuracy Recall Precision และ F1-score ของการทดลองตรวจจับการล้มของอัตราส่วนขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) และ ตรวจจับการล้มโดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) ทั้ง 5 สถานการณ์

| ชุดข้อมูลและวิธีการวิเคราะห์ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|------------------------------|----------|--------|-----------|----------|
| Bounding box dataset         | 0.64     | 0.45   | 0.93      | 0.65     |
| Angle dataset                | 0.74     | 0.71   | 0.82      | 0.72     |

#### 4.2 ผลการทดลอง จากการวิเคราะห์ข้อมูลจากไฟล์ csv ด้วย Machine learning

ผลการทดลองในการใช้ Random forest และ K-NN จากชุดข้อมูลที่มาจากการทดลองตรวจจับการล้มของขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) ปรากฏว่า Random forest ได้ค่า accuracy 0.98 โดยค่าเฉลี่ย (weighted avg) ของ precision คือ 0.98 recall คือ 0.98 F1-score คือ 0.98 ในด้านของ K-NN ได้ค่า accuracy 0.98 โดยค่าเฉลี่ย (weighted avg) ของ precision คือ 0.98 recall คือ 0.98 F1-score คือ 0.98

ผลการทดลองในการใช้ Random forest และ K-NN จากชุดข้อมูลที่มาจากการทดลองตรวจจับการล้มโดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) ปรากฏว่า Random forest ได้ค่า accuracy 0.98 โดยค่าเฉลี่ย (weighted avg) ของ precision คือ 0.98 recall คือ 0.98 F1-score คือ 0.98 ในด้านของ K-NN ได้ค่า accuracy 0.85 โดยค่าเฉลี่ย (weighted avg) ของ precision คือ 0.85 recall คือ 0.85 F1-score คือ 0.85

ตาราง 50 ผลการทดลองจากการวิเคราะห์ข้อมูลจากไฟล์ csv ด้วย Machine learning

| ชุดข้อมูลและวิธีการวิเคราะห์ | Accuracy | Recall | Precision | F1-score |
|------------------------------|----------|--------|-----------|----------|
| <b>Bounding box dataset</b>  |          |        |           |          |
| Random forest                | 0.9763   | 0.98   | 0.98      | 0.98     |
| K-NN                         | 0.9765   | 0.98   | 0.98      | 0.98     |
| <b>Angle dataset</b>         |          |        |           |          |
| Random forest                | 0.9767   | 0.98   | 0.98      | 0.98     |
| K-NN                         | 0.8478   | 0.85   | 0.85      | 0.85     |



## บทที่ 5

### การสรุปผลการวิจัย การอภิปรายผล และข้อเสนอแนะของงานวิจัย

การหกล้มของมนุษย์มีผลกระทบอย่างมากในการดำเนินชีวิต โดยเฉพาะในผู้สูงอายุ ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาและทดลองการตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนของขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) และการเปลี่ยนแปลงของคามุมของร่างกาย (มุมสะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) เป็นวิธีในการตรวจจับการล้มแบบ threshold-based ซึ่งเมื่อได้ผลลัพธ์มาแล้ว ผู้วิจัยได้ปรับหมวดหมู่การตรวจจับการล้มในแต่ละเฟรมให้ถูกต้อง เพื่อเตรียมข้อมูลในการนำไปใช้กับ วิธีแบบ Machine learning – based ด้วยโมเดล random forest และ K-NN

จากผลการทดลอง สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษามุมกล้องที่เหมาะสมที่สุดในการตรวจจับการล้ม โดยได้นำค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองตรวจจับการล้มด้วยวิธีแบบ threshold-based นำมาคำนวณค่าเฉลี่ยจำนวนร้อยละของเฟรมที่มีเดียไปป์สามารถตรวจจับร่างกายมนุษย์ ต่อจำนวนเฟรมทั้งหมดใน 5 สถานการณ์ของกล้อง 8 ตัว และคำนวณค่าเฉลี่ยของ accuracy recall precision และ F1-score พบว่า กล้องตัวที่ 2 และกล้องตัวที่ 7 มีค่าเฉลี่ยใน 5 สถานการณ์ที่สูงใกล้เคียงกัน กล่าวคือ กล้องตัวที่ 2 มีค่าเฉลี่ยจำนวนร้อยละของเฟรมที่มีเดียไปป์สามารถตรวจจับร่างกายมนุษย์ ต่อจำนวนเฟรมทั้งหมดใน 5 สถานการณ์ คือ 92.13 accuracy 0.78 recall 0.74 precision 0.99 และ F1-score 0.83 ในขณะที่ กล้องตัวที่ 7 มีค่าเฉลี่ยจำนวนร้อยละของเฟรมที่มีเดียไปป์สามารถตรวจจับร่างกายมนุษย์ ต่อจำนวนเฟรมทั้งหมดใน 5 สถานการณ์ คือ 92.54 accuracy 0.69 recall 0.65 precision 0.77 และ F1-score 0.70 โดยถึงแม้ว่าค่าเฉลี่ยจำนวนร้อยละของเฟรมที่มีเดียไปป์สามารถตรวจจับร่างกายมนุษย์ ต่อจำนวนเฟรมทั้งหมดใน 5 สถานการณ์ ของกล้องตัวที่ 7 จะมีความมากกว่ากล้องตัวที่ 2 แต่ค่าเฉลี่ยอื่นๆ กล้องตัวที่ 2 มีความมากกว่ากล้องตัวที่ 7 ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสรุปผลการวิจัยได้ว่า มุมกล้องที่เหมาะสมที่สุดในการทดลองนี้ คือมุมกล้องที่ได้จาก กล้องตัวที่ 2

ทั้งนี้ทางผู้วิจัยได้สังเกตว่า แม้ว่าตำแหน่งที่ติดตั้งกล้องทั้งสองตัว จะเป็นตำแหน่งที่อยู่ด้านตรงข้ามกัน แต่มุมกล้องที่ 2 จะเอียงไปด้านซ้ายมากกว่าเล็กน้อย ส่งผลให้มุมการรับภาพต่างกัน เมื่อพิจารณาจากการคำนวณค่าเฉลี่ย ปรากฏว่า สถานการณ์ที่ทำให้ค่าเฉลี่ยมุมกล้องที่ 2 และมุมกล้องที่ 7 ต่างกันมาก คือสถานการณ์ที่ 4 ในวิธีการตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนของขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) โดยจะมีการล้ม 2 รอบ ด้วยทิศทางการล้ม และมุมกล้องทำให้มองเห็นผู้ทดลอง มีทิศทางการล้มในกล้องที่ 2 ใกล้เคียงกับระนาบด้าน

ซ้าย-ขวา ของภาพมากกว่า ส่งผลให้อัตราส่วนของขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) ในกล่องตัวที่ 2 มีมากกว่า กล่องตัวที่ 7 โดยกล่องตัวที่ 7 ไม่สามารถทำนายการล้มจริงได้เลยในวิธีและสถานการณ์นี้

ทั้งนี้สำหรับการพิจารณามุมกล่องที่เหมาะสมที่สุดในการทดลองนี้ ยังคงมีข้อจำกัดบางประการ กล่าวคือ การตั้งกล่องที่แม้จะเป็นการตั้งกล่องบริเวณตรงข้ามกัน แต่ก็ติดตั้งให้มีการรับภาพแบบแตกต่างกันเล็กน้อย รวมถึงกล่องที่ใช้ในการทดลอง เป็นกล่องมุมกว้าง ทำให้มี การบิดเบือนของขนาดร่างกายผู้ทดลองอยู่บ้าง จึงไม่อาจสรุปได้ว่า หากเป็นสถานการณ์อื่นๆ กล่องแบบอื่นๆ หรือในห้วงอื่นๆ จะให้ผลลัพธ์ที่เหมือนกันหรือไม่ ทั้งนี้การสรุปผลลัพธ์ เป็นเพียงผลสรุปจากการทดลองนี้เท่านั้น

ในส่วนของวิธีการตรวจจับการล้ม จะเห็นได้ว่าวิธีที่ได้ Accuracy มากที่สุดคือ การใช้โมเดล Random forest กับชุดข้อมูล ซึ่งได้ค่าเฉลี่ย accuracy 0.9767 recall 0.98 precision 0.98 และ F1-score 0.98 จากผลการทดลองของการตรวจจับการล้มโดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) ในส่วนของวิธีการตรวจจับการล้มแบบ threshold-based วิธีที่ได้ค่าเฉลี่ย accuracy recall precision และ F1-score มากกว่าคือ การตรวจจับการล้มโดยใช้มุมมองศาร่างกายมนุษย์ (สะโพก ข้อเท้า เส้นพื้นดิน) ซึ่งได้ค่าเฉลี่ย accuracy 0.74 recall 0.71 precision 0.82 และ F1-score 0.72 ในขณะที่การตรวจจับการล้มโดยใช้อัตราส่วนของขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) ได้ค่าเฉลี่ย accuracy 0.64 recall 0.45 precision 0.93 และ F1-score 0.65

ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้พิจารณาจากวิธีการทั้งอัตราส่วนของขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) และการเปลี่ยนแปลงองศาของร่างกาย (มุมสะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) โดยมีข้อสังเกตว่า เนื่องจากวิธีการใช้อัตราส่วนของขอบเขตสี่เหลี่ยมรอบร่างกายมนุษย์ (Bounding box) ต้องใช้จุดบนร่างกายที่มีเดียไปป์จับได้ ทั้งร่วมกัน 4 จุด ซึ่งเป็นจุดร่วมในการวาด Bounding box รอบตัวผู้ทดลอง เพื่อหาอัตราส่วนที่เปลี่ยนแปลงของร่างกายเมื่อทำกิจกรรมต่างๆ รวมถึงการล้ม จึงต้องอาศัยข้อมูลจากหลายจุด เพื่อนำมาประมวลผลในการทำนายคำตอบเดียว รวมถึงหาก Mediapipe ไม่สามารถจับจุดใดจุดหนึ่งได้ ก็จะไม่สามารถคำนวณตามวิธีการที่ตั้งไว้ได้ อย่างไรก็ตาม การตรวจจับการล้มด้วยวิธีการเปลี่ยนแปลงองศาของร่างกาย (มุมสะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน) สามารถทำได้จากมุมสะโพก-ข้อเท้า-เส้นพื้นดิน ทั้งจากด้านซ้ายและด้านขวา ซึ่งจะมีโอกาสตรวจจับการล้มได้มากกว่า

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ยังคงมีข้อสังเกตคือ ระยะห่างระหว่างผู้ทดลอง กับกล้อง โดยระยะห่างที่แตกต่างกัน จะนำไปสู่ผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน หากมีระยะห่างขนาดพอดี ที่สามารถมองเห็นได้ตั้งแต่ศีรษะถึงเท้า ก็จะมีโอกาสที่ Mediapipe จะตรวจจับร่างกายผู้ทดลองได้มากกว่า ทั้งนี้ ผู้วิจัยมีความเห็นว่า งานวิจัยนี้สามารถปรับปรุงและนำไปต่อยอดได้ โดยสามารถทำร่วมกับ Object detection เพื่อตรวจจับเฟอร์นิเจอร์ เช่น เตียง โซฟา เก้าอี้เอนหลัง โดยจะช่วยลดการแจ้งเตือนผิด (false alarm) เมื่อผู้ทดลองมีปฏิสัมพันธ์กับเฟอร์นิเจอร์เหล่านี้ เช่น นั่ง เอนหลัง นอน เป็นต้น รวมถึงสามารถปรับใช้การทำนายการล้มด้วยวิธีแบบ threshold-based หลากหลายวิธีร่วมกัน หรือสามารถใช้การทำนายการล้มด้วยวิธีแบบ threshold-based ร่วมกับวิธี Machine learning-based ได้เช่นกัน รวมไปถึงการสร้างระบบแจ้งเตือนโดยการเชื่อมต่อ API จากแพลตฟอร์มต่างๆ เช่น Line Notify เพื่อแจ้งเตือนเมื่อมีการตรวจจับการล้มเกิดขึ้น



## บรรณานุกรม

- Chen, W., Jiang, Z., Guo, H., & Ni, X. (2020). Fall Detection based on key points of human-skeleton using openpose. 12. <https://doi.org/10.3390/SYM12050744>
- E. Auvinet, C. Rougier, J.Meunier, A. St-Arnaud, J. Rousseau, "Multiple cameras fall dataset", Technical report 1350, DIRO - Université de Montréal, July 2010.
- Huang, Z., Liu, Y., Fang, Y., & Horn, B. K. P. (2018). Video-based Fall Detection for Seniors with Human Pose Estimation. *2018 4th International Conference on Universal Village (UV)*, 1-4. <https://doi.org/10.1109/UV.2018.8642130>
- Miguel, K., Brunete, A., Hernando, M., & Gambao, E. (2017). Home Camera-Based Fall Detection System for the Elderly. *Sensors*, 17, 2864. <https://doi.org/10.3390/s17122864>
- Ren, L., Peng, Y., & (2019). Research of fall detection and fall prevention technologies: A systematic review. *IEEE Access*, 7, 77702-77722. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2922708>
- Salimi, M., Machado, J. J. M., & Tavares, J. (2022). Using Deep Neural Networks for Human Fall Detection Based on Pose Estimation. *Sensors (Basel)*, 22(12). <https://doi.org/10.3390/s22124544>
- Tongskulroongruang, T., Wiphunawat, P., Jutharee, W., Kaewmahanin, W., Rassameecharoenchai, T., Jennawasin, T., & Kaewkamnerdpong, B. (2022). Comparative Study on Fall Detection using Machine Learning Approaches. *2022 19th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, 1-4. <https://doi.org/10.1109/ECTI-CON54298.2022.9795445>
- University, C. M. (2016). *Researchers develop fall-prevention sensors*. <https://www.ece.cmu.edu/news-and-events/story/2016/04/fall-prevention-sensors.html>
- Vaidehi, V., Ganapathy, K., Mohan, K., Aldrin, A., & Nirmal, K. (2011). Video based automatic fall detection in indoor environment. *2011 International Conference on*

*Recent Trends in Information Technology (ICRTIT)*, 1016-1020.

<https://doi.org/10.1109/ICRTIT.2011.5972252>

Zhang, Y. (2022). APPLICATIONS OF GOOGLE MEDIAPIPE POSE ESTIMATION USING A SINGLE CAMERA A Project.

Zheng, L., Zhao, J., Dong, F., Huang, Z., & Zhong, D. (2023). Fall Detection Algorithm Based on Inertial Sensor and Hierarchical Decision. 23.

<https://doi.org/10.3390/s23010107>

Zhong, C., Ng, W. W. Y., Zhang, S., Nugent, C. D., Shewell, C., & Medina-Quero, J. (2021).

Multi-Occupancy Fall Detection Using Non-Invasive Thermal Vision Sensor. *IEEE*

*Sensors Journal*, 21(4), 5377-5388. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2020.3032728>

กระทรวงมหาดไทย, ก. (2566, 4). สถิติผู้สูงอายุไทย ปี 2565 โดยกลุ่มนโยบายและยุทธศาสตร์ กรม

กิจการผู้สูงอายุ. <https://www.dop.go.th/th/know/side/1/1/1962>

รถสีดา, ป. (2561). การป้องกันการหกล้มของผู้สูงอายุในชุมชน: บทบาทพยาบาลกับการดูแล

สุขภาพที่บ้าน. 11.

เอกกิตติ์ สุรการ, เอกจิต ศิขรินกุล, ธันยาภรณ์ ต้นสกุล, & วัฒนพนม, พ. (2564). อย่าให้สูงวัยล้ม

เดี่ยวไม่ลุก. [https://www.bangkokhospital.com/content/beware-of-elderly-people-](https://www.bangkokhospital.com/content/beware-of-elderly-people-falling)

[falling](https://www.bangkokhospital.com/content/beware-of-elderly-people-falling)





# ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล

วัน เดือน ปี เกิด

20 May 1995

