

การพัฒนาขั้นตอนวิธีตรวจหาการหลอกล้มด้วยไลเนกต์

นายประชารัฐ สัจด์ศัพท์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางภาพ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2555

**ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**  
บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)  
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)  
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

DEVELOPMENT OF FALL DETECTION ALGORITHM USING KINECT

Mr. Pracharat Sa-ngadsup

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science Program in Imaging Technology

Department of Imaging and Printing Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การพัฒนาขั้นตอนวิธีตรวจหาการหลอ้ด้วยไคเนกต์.

โดย

นายประชารัฐ สงค์ศัพท์

สาขาวิชา

เทคโนโลยีทางภาพ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวาล คุร์พิพัฒน์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ พรทวี พึ่งรัมย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวาล คุร์พิพัฒน์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.อรัญญา หาญสืบสาย)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร.กึ่งกาญจน์ สุขคณาภิบาล)

ประจักษ์รัฐ สัจด์ศัพท์: การพัฒนาขั้นตอนวิธีตรวจหาการหกล้มด้วยไคเนกต์.

(DEVELOPMENT OF FALL DETECTION ALGORITHM USING KINECT)

อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.ดร. ชวาล กุร์พิพัฒน์, 67 หน้า

สัดส่วนประชากรผู้สูงอายุในประเทศไทยจะเพิ่มจาก 11.9% ในปี พ.ศ. 2553 ไปเป็น 25.1% ในปี พ.ศ.2573 จากการประเมินของสำนักงานสถิติและสังคมแห่งชาติ งานวิจัยที่เกี่ยวกับสุขภาพของประชากรผู้สูงอายุจึงเป็นที่น่าสนใจมากขึ้น และในบรรดาปัญหาที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพในหมู่ผู้สูงอายุแล้วการหกล้มถือได้ว่าเป็นสาเหตุสำคัญประการหนึ่งของการบาดเจ็บและเสียชีวิต ระบบตรวจจับการหกล้มอัตโนมัติจึงถูกสร้างขึ้นเพื่อบรรเทาปัญหาผู้สูงอายุหกล้มแล้วลุกไม่ขึ้นขณะอยู่คนเดียว เป้าหมายของงานวิจัยชิ้นนี้เพื่อพัฒนาวิธีการตรวจจับการหกล้ม โดยใช้กล้องไคเนกต์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนไหวราคาถูกลงที่สามารถบันทึกข้อมูลตำแหน่งของส่วนต่างๆในร่างกายคนในพิกัดสามมิติได้ จากนั้นจึงวิเคราะห์ข้อมูลการเคลื่อนไหวของร่างกายเพื่อสร้างขั้นตอนวิธีที่สามารถตรวจจับการหกล้มได้ งานวิจัยชิ้นนี้ใช้ข้อมูลตำแหน่งของศีรษะในพิกัดคาร์ทีเซียนแบบสามมิติ มาคำนวณหาความเร็วและความเร่งเพื่อตรวจจับการหกล้ม ผลที่ได้จากการทดลองในสถานะควบคุมพบว่าขั้นตอนวิธีที่ได้มีมีความแม่นยำ 99% ความไวในการตรวจจับ 98.2% และมีความจำเพาะเจาะจง 100%

ภาควิชา.....วิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์.....ลายมือชื่อนี้สิด.....

สาขาวิชา.....เทคโนโลยีทางภาพ.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา.....2555.....

# # 5472210023 : MAJOR IMAGING TECHNOLOGY

KEYWORDS : FALL DETECTION/ INFRARED DEPTH CAMERA/ MICROSOFT KINECT  
SENSOR

PRACHARAT SA-NGADSUP: DEVELOPMENT OF FALL DETECTION  
ALGORITHM USING KINECT. ADVISOR : ASST. PROF. CHAWAN COOPIPAT,  
Ph.D., 67 pp.

**Ratio of elderly population in Thailand according to National Statistical Office will increase from 11.9% in 2010 to 25.1% in 2030, thus research in elderly health has gained attention recently. Among all elderly health problems, falling is a major cause of injuries and deaths. Automatic fall detection monitoring system was built to lessen the consequence of “Long lies”, a situation when elderly cannot get up from fall and have to wait a long time before help arrives. The research objective is to develop fall detection algorithm using Kinect, a low cost motion capture, which can capture position of body parts in 3D Cartesian coordinate. Then the body movement data will be analyzed to produce algorithm which can detect falling event. In order to detect fall events head position data from Kinect were used to calculate Velocity and Acceleration. Result from controlled environment shows 99% accuracy, 98% sensitivity and 100% specificity.**

Department : .....Imaging and Printing Technology.....Student’s Signature.....

Field of Study : .....Imaging Technology.....Advisor’s Signature.....

Academic Year : .....2012.....

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวาล คุรุพัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ช่วยให้เกิดวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขึ้นมาได้ และขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์พรวิ พิ้งรัมย์ ประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. อรัญ หาญสืบสาย และ ดร.กิ่งกาญจน์ สุขคณาภิบาล คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ช่วยให้ข้อเสนอแนะ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์แบบมากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณเพื่อนๆนิสิตที่ช่วยให้คำแนะนำ ให้ข้อมูล และช่วยเข้าร่วมการทดลองที่เกี่ยวข้องในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และท้ายที่สุดวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะสำเร็จไม่ได้เลยถ้าขาดการสนับสนุนจากคุณแม่ของผู้เขียนที่ช่วยสนับสนุนในทุกๆด้านมาโดยตลอด

## สารบัญ

หน้า

|                                                                      |          |
|----------------------------------------------------------------------|----------|
| บทคัดย่อภาษาไทย .....                                                | ง        |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....                                             | จ        |
| กิตติกรรมประกาศ .....                                                | ฉ        |
| สารบัญ .....                                                         | ช        |
| สารบัญตาราง .....                                                    | ฅ        |
| สารบัญภาพ .....                                                      | ฉ        |
| สารบัญแผนภูมิ.....                                                   | ฐ        |
| <b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>                                             | <b>1</b> |
| 1.1    บทนำ .....                                                    | 1        |
| 1.2    ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....                           | 3        |
| 1.3    วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....                                  | 4        |
| 1.4    ประโยชน์ที่ได้รับ.....                                        | 4        |
| 1.5    แนวคิดและทฤษฎี.....                                           | 4        |
| <b>บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>                   | <b>5</b> |
| 2.1    การตรวจจับการหลั้ม.....                                       | 5        |
| 2.1.1    กลุ่มที่ใช้อุปกรณ์ตรวจวัดแบบสวมใส่ .....                    | 5        |
| 2.1.2    กลุ่มที่ใช้อุปกรณ์ถ่ายภาพ .....                             | 7        |
| 2.1.3    ระบบผสมผสาน และระบบอื่นๆ .....                              | 10       |
| 2.2    กล้องไคเนคต์.....                                             | 11       |
| 2.2.1    ส่วนประกอบของไคเนคต์.....                                   | 13       |
| 2.2.2    ทฤษฎีการวัดตำแหน่งวัตถุในสามมิติของไคเนคต์.....             | 14       |
| 2.3    ข้อเด่นและข้อด้อยของไคเนคต์เมื่อเทียบกับอุปกรณ์ชนิดอื่นๆ..... | 18       |

|                                            |                                                                                  |           |
|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.4                                        | ข้อมูลสเกลตัน.....                                                               | 19        |
| 2.4.1                                      | ข้อมูลข้อต่อ.....                                                                | 20        |
| 2.4.2                                      | การลดสัญญาณรบกวนในข้อมูลข้อต่อ .....                                             | 21        |
| 2.4.2.1                                    | ผลของสัญญาณรบกวนที่มีต่อการวิเคราะห์ข้อมูล .....                                 | 21        |
| 2.4.2.2                                    | เทคนิคในการฟิลเตอร์กับความล่าช้าของการตอบสนองต่อการเคลื่อนไหว.....               | 23        |
| 2.4.3                                      | ฟิลเตอร์ลดสัญญาณรบกวนที่น่าสนใจ.....                                             | 24        |
| 2.4.3.1                                    | สัญลักษณ์ที่ใช้ในสมการ .....                                                     | 24        |
| 2.4.3.2                                    | Central Average Filter .....                                                     | 25        |
| 2.4.3.3                                    | Moving Median .....                                                              | 25        |
| 2.4.3.4                                    | Exponential Smoothing filter .....                                               | 25        |
| 2.4.3.5                                    | Savitzky – Golay filter .....                                                    | 26        |
| <b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย .....</b> |                                                                                  | <b>27</b> |
| 3.1                                        | วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย .....                                         | 27        |
| 3.2                                        | วิธีการดำเนินงานวิจัย.....                                                       | 27        |
| 3.2.1                                      | ขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้วัดค่าตัวแปรที่จำเป็น<br>ในการตรวจจับการหกล้ม..... | 28        |
| 3.2.2                                      | ขั้นตอนการตรวจวัดค่าที่ใช้ในการตรวจจับการหกล้ม.....                              | 30        |
| 3.2.3                                      | ขั้นตอนการนำค่าที่บันทึกได้มาพัฒนาขั้นตอนวิธีสำหรับตรวจจับการหกล้ม.....          | 32        |
| 3.2.4                                      | ขั้นตอนทดสอบขั้นตอนวิธีที่พัฒนาขึ้นมาด้วยการทดลองในภาวะควบคุม.....               | 32        |
| 3.2.5                                      | เปรียบเทียบผลที่ทดสอบได้กับวิธีการอื่นๆ ที่เคยมีการวิจัยมาแล้ว.....              | 33        |
| <b>บทที่ 4 ผลการวิจัย.....</b>             |                                                                                  | <b>35</b> |
| 4.1                                        | ระบบตรวจจับการหกล้ม .....                                                        | 35        |
| 4.1.1                                      | การกรองสัญญาณรบกวน.....                                                          | 36        |
| 4.1.1.1                                    | การนำเข้าข้อมูลดิบ .....                                                         | 37        |
| 4.1.1.2                                    | การกำจัดข้อมูลที่เป็นไปไม่ได้หรือความเป็นไปได้ต่ำ .....                          | 37        |



|                                      |                                                                                            |           |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.1.1.2.1                            | ค่าสัมประสิทธิ์ของ Exponential Filter .....                                                | 37        |
| 4.1.1.2.2                            | ความเร็วในการเคลื่อนที่ของศีรษะและลำตัว .....                                              | 38        |
| 4.1.1.3                              | การกำจัดสัญญาณรบกวนในข้อมูล .....                                                          | 39        |
| 4.1.1.3.1                            | การใช้งาน Savitzky – Golay Filter .....                                                    | 40        |
| 4.1.2                                | การคำนวณความเร็วและความเร่ง .....                                                          | 41        |
| 4.1.3                                | การตรวจจับการหกล้ม.....                                                                    | 41        |
| 4.1.3.1                              | ค่าความเร็วในแนวแกน Y .....                                                                | 42        |
| 4.1.3.2                              | ผลรวมค่าความเร็วในแนวแกน X-Z.....                                                          | 44        |
| 4.1.3.3                              | ค่าความเร่งรวมสามแกน.....                                                                  | 45        |
| 4.1.4                                | ค่าที่ใช้ตรวจจับการหกล้ม.....                                                              | 45        |
| 4.1.4.1                              | ประสิทธิภาพการตรวจจับเมื่อใช้ความเร็วในแนวแกน Y เป็นเงื่อนไข .....                         | 46        |
| 4.1.4.2                              | ประสิทธิภาพการตรวจจับเมื่อใช้ผลบวกเวกเตอร์ความเร็ว<br>ในแนวแกน X Z เป็นเงื่อนไข.....       | 47        |
| 4.1.4.3                              | ประสิทธิภาพการตรวจจับเมื่อใช้ผลบวกเวกเตอร์ความเร่ง<br>ในแนวแกน X Y และ Z เป็นเงื่อนไข..... | 47        |
| 4.1.4.4                              | ประสิทธิภาพการตรวจจับเมื่อใช้ตัวแปร $v_y$ และ $v_{xz}$ ร่วมกัน .....                       | 48        |
| 4.1.4.5                              | ประสิทธิภาพการตรวจจับเมื่อใช้ตัวแปร $v_y$ $v_{xz}$ และ $a_{xyz}$ ร่วมกัน .....             | 49        |
| 4.1.5                                | ตัวแปรที่มีประสิทธิภาพที่สุดในการตรวจจับการหกล้ม.....                                      | 50        |
| 4.2                                  | ขั้นตอนวิธีตรวจจับการหกล้ม .....                                                           | 51        |
| 4.2.1                                | ภาพรวมของขั้นตอนวิธี .....                                                                 | 51        |
| 4.2.2                                | ความเหลื่อมของจุดสูงสุดของสัญญาณ .....                                                     | 52        |
| <b>บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผล.....</b> |                                                                                            | <b>54</b> |
| 5.1                                  | วิจารณ์ผลการทดลอง.....                                                                     | 54        |
| 5.2                                  | สรุปผล .....                                                                               | 55        |
| 5.3                                  | ข้อเสนอแนะ .....                                                                           | 55        |
| 5.3.1                                | ข้อมูลสเกลตัน.....                                                                         | 55        |

|       |                                 |    |
|-------|---------------------------------|----|
| 5.3.2 | การกรองสัญญาณรบกวน.....         | 56 |
| 5.3.3 | การขาดหายของข้อมูล.....         | 56 |
| 5.3.4 | การตรวจจับการหลัด.....          | 56 |
| 5.3.5 | ระบบที่สมบูรณ์แบบ .....         | 57 |
|       | รายการอ้างอิง.....              | 58 |
|       | ภาคผนวก.....                    | 63 |
|       | ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... | 67 |

## สารบัญตาราง

หน้า

|                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ตารางที่: 1-1 สถิติประชากรไทยและการคาดการณ์จำนวนประชากร ในอนาคต<br>จากสำนักงานสถิติและสังคมแห่งชาติ ..... | 1  |
| ตารางที่: 2-1 สมบัติของกล่องอินฟราเรดของไคเนคต์ .....                                                     | 13 |
| ตารางที่: 3-1 ท่าทางที่ใช้เก็บข้อมูล .....                                                                | 30 |
| ตารางที่: 3-2 วิธีการตรวจจับการหกล้มที่นำมาใช้เปรียบเทียบ .....                                           | 34 |
| ตารางที่: 4-1 ค่าสัมประสิทธิ์ของ Exponential Filter เมื่อ $\alpha$ เท่ากับ 0.5 .....                      | 38 |
| ตารางที่: 4-2 ความเร็วและความเร่งในภาวะหกล้ม.....                                                         | 38 |
| ตารางที่: 4-3 ประสิทธิภาพของการใช้ $v_y$ ในการตรวจจับการหกล้ม .....                                       | 46 |
| ตารางที่: 4-4 ประสิทธิภาพของการใช้ $v_{xz}$ ในการตรวจจับการหกล้ม .....                                    | 47 |
| ตารางที่: 4-5 ประสิทธิภาพของการใช้ $a_{xyz}$ ในการตรวจจับการหกล้ม .....                                   | 48 |
| ตารางที่: 4-6 ประสิทธิภาพของการใช้ $v_y$ และ $v_{xz}$ ในการตรวจจับการหกล้ม .....                          | 49 |
| ตารางที่: 4-7 ประสิทธิภาพของการใช้ $v_y$ $v_{xz}$ และ $a_{xyz}$ ในการตรวจจับการหกล้ม.....                 | 50 |
| ตารางที่: 4-8 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแปรที่ใช้ในการตรวจจับการหกล้ม .....                          | 50 |

## สารบัญภาพ

หน้า

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| ภาพที่: 2-1 อุปกรณ์ตรวจจับการหลั่งแบบสวมใส่ .....                                | 6  |
| ภาพที่: 2-2 ชนิดของระบบตรวจจับการหลั่งด้วยอุปกรณ์ถ่ายภาพจำแนกตามวิธีที่ใช้ ..... | 8  |
| ภาพที่: 2-3 ไมโครโฟนสำหรับตรวจจับการหลั่ง .....                                  | 11 |
| ภาพที่: 2-4 อายทอย และวีวี โมท .....                                             | 12 |
| ภาพที่: 2-5 กล้องไคเนกต์ .....                                                   | 13 |
| ภาพที่: 2-6 หลักการทำงานของไคเนกต์โดยสังเขป .....                                | 14 |
| ภาพที่: 2-7 การคำนวณหาระยะด้วยวิธีการทางตรีโกณมิติของเครื่องไคเนกต์ .....        | 16 |
| ภาพที่: 2-8 วิธีการหาตำแหน่งข้อต่อจากข้อมูลความลึก .....                         | 19 |
| ภาพที่: 2-9 ตำแหน่งข้อต่อในข้อมูลสเกลตัน .....                                   | 20 |
| ภาพที่: 3-1 ขั้นตอนการทำงาน ของโปรแกรมบันทึกตำแหน่ง .....                        | 28 |
| ภาพที่: 3-2 ข้อมูล .CVS ที่ได้จากโปรแกรมบันทึกวัดตำแหน่ง .....                   | 28 |
| ภาพที่: 3-3 รายละเอียดการทำงาน ของโปรแกรมบันทึกตำแหน่ง .....                     | 29 |
| ภาพที่: 3-4 ตัวอย่างข้อมูลตำแหน่งของข้อต่อ .....                                 | 30 |
| ภาพที่: 3-5 ภาพการลื่นในด้านต่างๆ .....                                          | 32 |
| ภาพที่: 4-1 ขั้นตอนการทำงาน ของระบบตรวจจับการหลั่ง .....                         | 35 |
| ภาพที่: 4-2 ขั้นตอนการกรองสัญญาณรบกวน .....                                      | 36 |
| ภาพที่: 4-3 ภาพแสดงขั้นตอนการทำงาน ของขั้นตอนวิธีตรวจจับการหลั่ง .....           | 51 |
| ภาพที่: 4-4 วิธีการหาค่าสูงสุดจากช่วงของข้อมูล .....                             | 53 |

## สารบัญแผนภูมิ

หน้า

|                                                                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| แผนภูมิที่: 1-1 จำนวนผู้ที่มีอายุมากกว่า 65 ปี ในประเทศสหรัฐอเมริกาที่เสียชีวิตเนื่องจาก<br>เหตุผลอื่นนอกเหนือจากโรคภัยไข้เจ็บ ระหว่างปี พ.ศ. 2543 ถึง พ.ศ. 2553 ..... | 2  |
| แผนภูมิที่: 2-1 ประเภทของระบบตรวจจัดการหกล้มอัตโนมัติ.....                                                                                                             | 5  |
| แผนภูมิที่: 2-2 แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่าง $Z_k - 1$ กับ $d'$ .....                                                                                                    | 17 |
| แผนภูมิที่: 2-3 ข้อมูลดิบตำแหน่งของศีรษะในแกน Y .....                                                                                                                  | 22 |
| แผนภูมิที่: 2-4 เปรียบเทียบอนุพันธ์ลำดับที่สองของข้อมูลดิบและข้อมูล<br>ที่ผ่านการกรองสัญญาณรบกวนแล้ว .....                                                             | 22 |
| แผนภูมิที่: 2-5 ความล่าช้าที่เกิดจากการกรองข้อมูล .....                                                                                                                | 23 |
| แผนภูมิที่: 3-1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....                                                                                                                          | 27 |
| แผนภูมิที่: 4-1 แผนภูมิเปรียบเทียบผลของฟิลเตอร์ Savitzky - Golay (เส้นทึบ)<br>และ Central average (เส้นประ) เมื่อใช้กับข้อมูลความเร็ว.....                             | 39 |
| แผนภูมิที่: 4-2 (บน) เปรียบเทียบความเร็วในแนวแกน Y เปรียบเทียบความเร่งในแนวแกน Y .....                                                                                 | 42 |
| แผนภูมิที่: 4-3 ค่าความเร็วในแนวแกน Y ของการหกล้มแบบต่างๆและท่าทางปกติ .....                                                                                           | 43 |
| แผนภูมิที่: 4-4 ผลรวมค่าความเร็ว X Z ของการหกล้มแบบต่างๆและท่าทางปกติ.....                                                                                             | 44 |
| แผนภูมิที่: 4-5 ผลรวมค่าความเร่งในแกน X Y และ Z ของการหกล้มแบบต่างๆ<br>และในท่าทางปกติ .....                                                                           | 45 |
| แผนภูมิที่: 4-6 ความสัมพันธ์ระหว่าง $v_y$ กับ $v_{xz}$ ระหว่างหกล้ม และไม่หกล้ม .....                                                                                  | 49 |
| แผนภูมิที่: 4-7 แผนภูมิแสดงความเหลื่อมของจุดสูงสุดของความเร็วเมื่อเกิดการหกล้ม.....                                                                                    | 52 |

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 บทนำ

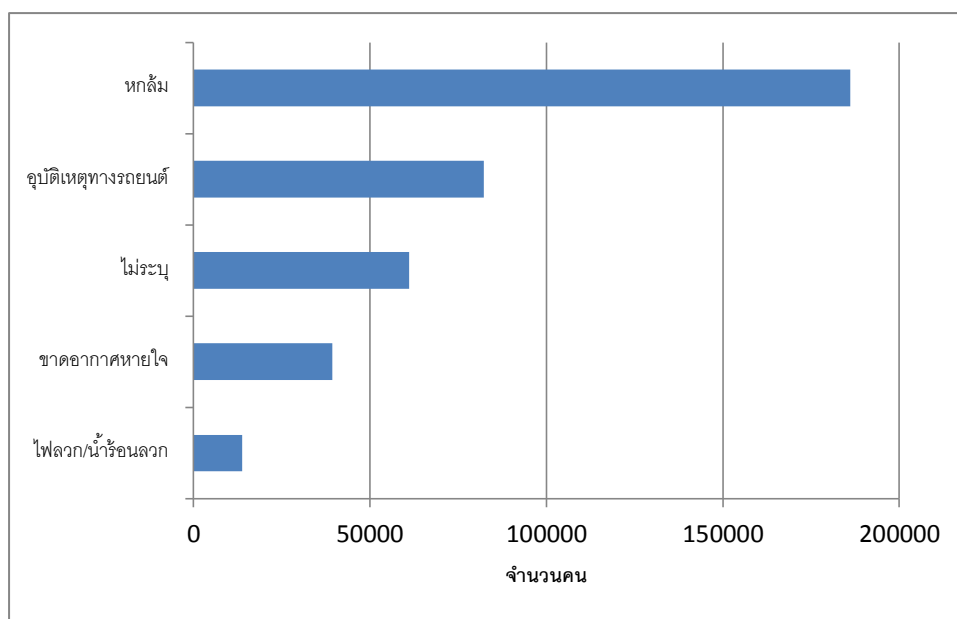
เป็นที่ทราบกันว่าโลกของเรากำลังเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุโดยรายงานของ UN ประเมินว่า ประชากรผู้สูงอายุจะมีสัดส่วนเพิ่มขึ้นจาก 10% ในปี พ.ศ.2543 ไปจนถึง 20% ในปี พ.ศ. 2593[1] สำหรับประเทศไทยนั้นจากการประเมินของสำนักงานสถิติและสังคมแห่งชาติ[2] สัดส่วนประชากรผู้สูงอายุในประเทศไทยจะเพิ่มจาก 11.9% ในปี พ.ศ. 2553 ไปเป็น 25.1% ในปี พ.ศ.2573 ตามข้อมูลในตารางที่ 1-1 เพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางสังคมที่จะตามมา งานวิจัยที่เกี่ยวกับคุณภาพชีวิตของประชากรผู้สูงอายุจึงมีความสำคัญและได้รับความสนใจอย่างต่อเนื่อง

ตารางที่: 1-1 สถิติประชากรไทยและการคาดการณ์จำนวนประชากร  
ในอนาคตจากสำนักงานสถิติและสังคมแห่งชาติ

| ปี พ.ศ. | จำนวนประชากร | จำนวนประชากรอายุ 60 ปีขึ้นไป | ร้อยละของประชากร |
|---------|--------------|------------------------------|------------------|
| 2503    | 26,257,916   | 1,506,000                    | 5.4              |
| 2513    | 34,397,371   | 1,680,900                    | 4.9              |
| 2523    | 44,824,540   | 2,912,000                    | 6.3              |
| 2533    | 54,509,500   | 4,014,000                    | 7.4              |
| 2543    | 60,916,441   | 5,792,970                    | 9.5              |
| 2553    | 67,313,000   | 8,011,000                    | 11.9             |
| 2563    | 70,100,000   | 12,272,000                   | 17.5             |
| 2573    | 70,629,000   | 17,763,000                   | 25.1             |

ในบรรดาปัญหาที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพในหมู่ผู้สูงอายุแล้วการหกล้มถือได้ว่าเป็นสาเหตุสำคัญประการหนึ่งของการบาดเจ็บและเสียชีวิต[3] จากการศึกษาพบว่าในแต่ละปีผู้ที่มีอายุมากกว่า 65 ปีหนึ่งในสามคนจะหกล้ม[4] ซึ่งในประเทศสหรัฐอเมริกาประเทศเดียวมีจำนวนผู้สูงอายุที่เสียชีวิตเนื่องจากการบาดเจ็บเนื่องจากการหกล้มระหว่างปี พ.ศ. 2543 ถึง พ.ศ. 2553 เป็นจำนวนถึง 186,029 คน[5] ทำให้การหกล้มเป็นสาเหตุอันดับหนึ่งของการเสียชีวิตในผู้สูงอายุจากอาการบาดเจ็บโดยไม่ได้ตั้งใจในประเทศสหรัฐอเมริกา ในส่วนของประเทศไทยจากการสำรวจพบว่าผู้สูงอายุ 18.5% หกล้มภายในหกเดือนก่อนทำแบบสอบถาม จำนวนครั้งที่หกล้มโดยเฉลี่ยคือสองครั้ง และจำนวนผู้สูงอายุที่ได้รับบาดเจ็บรุนแรงจากการหกล้มอยู่ที่ 5.1%[6]

**แผนภูมิที่: 1-1** จำนวนผู้ที่มีอายุมากกว่า 65 ปี ในประเทศสหรัฐอเมริกาที่เสียชีวิตเนื่องจากเหตุผลอื่นนอกเหนือจากโรกภัยไข้เจ็บ ระหว่างปี พ.ศ. 2543 ถึง พ.ศ. 2553



จากเหตุผลข้างต้นทำให้งานวิจัยเกี่ยวกับการหกล้มได้รับความสนใจอย่างมากและมีผลงานหลากหลายสาขาวิชาตั้งแต่ด้านการป้องกันการหกล้ม การรักษาอาการบาดเจ็บที่เกิดจากการหกล้ม การศึกษาพฤติกรรมที่มีแนวโน้มจะนำไปสู่การหกล้ม และอุปกรณ์ตรวจจับการหกล้ม ที่จะป็นหัวข้อของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ระบบตรวจจับการหกล้มมีได้หลายรูปแบบเช่นแบบสวมใส่ แบบตรวจจับสัญญาณเสียง หรือแบบตรวจจับสัญญาณภาพ[7] โดยแต่ละรูปแบบมีจุดด้อยที่แตกต่างกันออกไป เช่นแบบสวมใสนั้นต้องใส่ติดตัวตลอดเวลาในตำแหน่งที่เหมาะสมทำให้ไม่สะดวกกับการใช้งาน แบบตรวจจับสัญญาณเสียงมีความแม่นยำที่ต่ำกว่าแบบอื่นๆ ส่วนแบบตรวจจับสัญญาณภาพนั้นมีปัญหาด้านขอบเขตการรับภาพที่จำกัด[8] อุปกรณ์ตรวจจับการหกล้มยังคงต้องการงานวิจัยเพื่อพัฒนาอีกมาก ทั้งในด้านความสะดวกสบายในการใช้ ความแม่นยำในการตรวจจับ และราคาของระบบ

ในปี พ.ศ. 2553 บริษัทไมโครซอฟท์ได้วางจำหน่ายกล้องไคเนกต์(Kinect) ในฐานะของอุปกรณ์เล่นเกมที่ล้ำกว่าด้วยเหตุผลที่เครื่องไคเนกต์เป็นกล้องความลึกในราคาที่ไม่แพง (199 US\$) ทำให้มีการนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆมากมาย[9] ไม่ว่าจะเป็นด้านวิศวกรรมศาสตร์ [10],[11] วิทยาศาสตร์[12] หรือแม้กระทั่งการแพทย์[13] ผู้วิจัยเห็นว่าคุณสมบัติของกล้องไคเนกต์ไม่เฉพาะในด้านความสามารถหรือราคาระนั้นเหมาะสมที่จะนำมาใช้พัฒนาระบบตรวจจับการหกล้มที่มีประสิทธิภาพและราคาไม่แพงจึงได้เกิดวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขึ้น และผลการวิจัยนี้คาดว่าจะเป็นส่วนหนึ่งที่ช่วยดูแลผู้สูงอายุอย่างมีประสิทธิภาพและเป็นผลให้ใช้ชีวิตอย่างมีคุณภาพ

## 1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การบาดเจ็บที่เกิดจากการหกล้มในผู้สูงอายุนั้นมีตั้งแต่บาดเจ็บเล็กน้อยเช่นฟกช้ำจนถึงบาดเจ็บสาหัสอย่างเช่นกระดูกหัก หรืออาจจะนำไปสู่การเสียชีวิตได้[14] โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเกิดอาการกระดูกสะโพกแตกร้าวนั้นเนื่องจากการหกล้ม นอกจากนั้นยังมีการค้นพบว่าหนึ่งในสองของผู้หกล้มที่นอนอยู่กับพื้นนานกว่าหนึ่งชั่วโมงเสียชีวิตภายใน 6 เดือนหลังจากที่หกล้ม[15] และการนอนอยู่กับพื้นเป็นระยะเวลาอันยาวนานยังอาจจะก่อให้เกิดภาวะความกลัวการหกล้ม กล้ามเนื้อบาดเจ็บ ปวดบวม อาการขาดน้ำอย่างรุนแรง และ ไฮโปเธอร์เมีย อีกด้วย[16] และยังผู้ล้มอยู่กับพื้นนานเท่าใดโอกาสที่จะเกิดอันตรายก็จะเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆตามเวลาที่อยู่กับพื้น[17]



จากเหตุผลข้างต้นทำให้ระบบอัตโนมัติที่สามารถตรวจจับและแจ้งเตือนการหกล้มได้แบบเวลาจริงจึงเป็นหัวข้อที่น่าสนใจ เนื่องจากช่วยให้ผู้ที่เกี่ยวข้องเช่นหน่วยกู้ภัย แพทย์ ผู้ดูแลหรือญาติพี่น้อง สามารถตอบสนองต่อการหกล้มได้อย่างรวดเร็ว ช่วยลดผลกระทบที่เกิดจากการที่ผู้หกล้มนอนอยู่กับพื้นเป็นเวลานาน อีกทั้งยังสามารถทำงานได้ทุกวันตลอด 24 ชั่วโมงอีกด้วย

### 1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาขั้นตอนวิธีที่สามารถตรวจจับการหกล้มได้โดยอัตโนมัติ โดยอาศัยข้อมูลจากกล้องตรวจจับตำแหน่งในสามมิติของบริษัทไมโครซอฟต์ ที่มีชื่อทางการค้าว่าไคเนคต์

### 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

เป้าหมายของงานวิจัยชิ้นนี้นั้นคือต้องการพัฒนาระบบตรวจจับและแจ้งเตือนการหกล้มแบบอัตโนมัติที่สามารถติดตั้งในบ้านที่มีผู้สูงอายุ หรือในสถานที่ซึ่งมีโอกาสเสี่ยงที่จะเกิดการหกล้ม เพื่อช่วยให้ผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถตอบสนองต่ออุบัติเหตุได้อย่างทันท่วงทีและมีประสิทธิภาพ ซึ่งมีผลช่วยลดโอกาสเสียชีวิตหรือบาดเจ็บสาหัสจากการหกล้ม ซึ่งนับได้ว่าเป็นการเพิ่มคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุที่จะมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ในสังคม

### 1.5 แนวคิดและทฤษฎี

ไคเนคต์เป็นตัวตรวจวัดข้อมูลความลึก โดยข้อมูลที่ได้รับสามารถแปลงเป็นข้อมูลตำแหน่งของข้อต่อส่วนต่างๆของร่างกายได้[9] จากนั้นผู้วิจัยจะใช้ข้อมูลที่กล่าวมาทำการคำนวณหาค่าความเร็ว และความเร่ง เพื่อนำมาพัฒนาอัลกอริทึมเพื่อใช้วิเคราะห์ว่าบุคคลคนนั้นหกล้มหรือไม่ ถ้าตรวจพบการหกล้มก็จะทำการส่งสัญญาณเตือนออกไป โดยจะใช้แนวทางจากการศึกษาของ Lindeman [18] ที่ว่าด้วยความเร็วในภาวะปกติและภาวะการล้ม

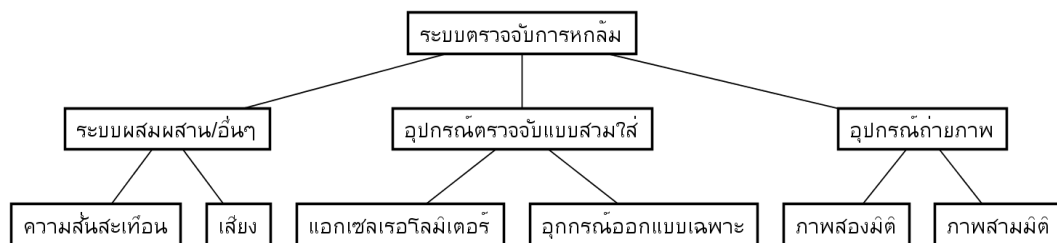
## บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 การตรวจจับการหกล้ม

งานวิจัยเกี่ยวกับการตรวจจับการหกล้มมีมาอย่างต่อเนื่องนับตั้งแต่ พ.ศ. 2534 นำโดย Lord และ Colvin[19] งานวิจัยในระยะแรกนั้นจะเน้นที่การใช้มาตรวัดความเร่ง (Accelerometer) มาติดเข้ากับร่างกายเพื่อตรวจวัดความเร็ว-ความเร่ง และนำข้อมูลมาวิเคราะห์ว่าเกิดการหกล้มขึ้นหรือไม่ ต่อมาในปี พ.ศ. 2543 Wu[20] ได้เริ่มมีการนำกล้องร่วมกับระบบการประมวลผลภาพ(Image Processing)มาใช้ตรวจจับการหกล้ม โดย ในปี พ.ศ. 2555 Yun[21] ได้นำเสนอระบบตรวจจับการหกล้มอัตโนมัติด้วยเสียง ส่วนการตรวจจับการหกล้มด้วยไคเนคตนั้น มีงานวิจัยที่ได้ออกมาหลายชิ้นที่จะได้มีการกล่าวถึงต่อไป

การแบ่งประเภทงานวิจัยเกี่ยวกับการตรวจจับการหกล้มนั้นสามารถใช้วิธีจำแนกตามอุปกรณ์ที่ใช้ ซึ่งถ้าแบ่งด้วยเงื่อนไขด้านอุปกรณ์จะสามารถแบ่งออกเป็นสามกลุ่มได้แก่ หนึ่งใช้อุปกรณ์ตรวจวัดแบบสวมใส่ สองใช้อุปกรณ์ถ่ายภาพ และกลุ่มสุดท้ายคือระบบผสมหรือใช้อุปกรณ์อื่นๆ

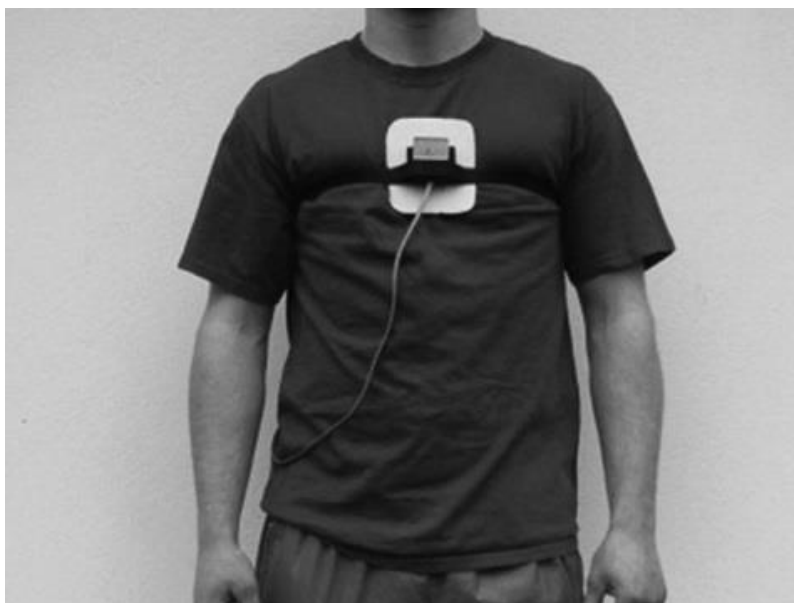
#### แผนภูมิที่ 2-1 ประเภทของระบบตรวจจับการหกล้มอัตโนมัติ



#### 2.1.1 กลุ่มที่ใช้อุปกรณ์ตรวจวัดแบบสวมใส่

อุปกรณ์ตรวจจับการหกล้มในกลุ่มนี้จะใช้มาตรวัดความเร่งติดกับส่วนต่างๆของร่างกายเช่น หน้าอก เอว หรือศีรษะดังเช่นตัวอย่างในภาพที่ 2-1 ซึ่งอุปกรณ์

ดังกล่าวจะมีตัววัดความเร็วและความเร่ง หรือในบางกรณีจะรวมแผงวงจรที่สามารถคำนวณภาวะการหกล้มได้ด้วย และในบางงานวิจัยได้มีการออกแบบตัวตรวจวัดสัญญาณขึ้นมาเพื่อตรวจจับการหกล้มโดยเฉพาะ



ภาพที่: 2-1 อุปกรณ์ตรวจจับการหกล้มแบบสวมใส่ [22]

อุปกรณ์ที่ใช้มาตรวจวัดความเร็วและความเร่งเป็นอุปกรณ์ตรวจจับการหกล้มแบบอัตโนมัติชนิดแรกที่ได้รับการพัฒนาขึ้น โดยเริ่มจากงานวิจัยของ Lord และ Colvin[19] เมื่อปี พ.ศ. 2534 ต่อมาอีก 7 ปี Williams[23] นำเสนอเข็มขัดที่สามารถตรวจวัดแรงกระแทกเมื่อผู้สวมใส่กระทบพื้นได้ Noury[24][25] ใช้อินฟราเรดเซนเซอร์ร่วมกับสวิตช์แม่เหล็กที่สวมติดตัวไว้ได้รู้เร็ว ที่มีความไว และความจำเพาะเจาะจงเกือบ 85%

Depeursinge[26] จดสิทธิบัตรวิธีการใช้มาตรวัดความเร็ว 3 ตัววางตั้งฉากกัน และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์โดยโครงข่ายเส้นประสาท(Neural Network)เพื่อใช้ตรวจจับพฤติกรรมที่ผิดไปจากปกติเช่นการหกล้ม ในปี พ.ศ.2548 Lindemann[18] ใช้มาตรวัดความเร็วแบบสามแกนติดที่บริเวณก้น และเสนอว่าข้อมูลที่สามารถ

วิเคราะห์การหกล้มได้อย่างแม่นยำคือ ผลรวมเวกเตอร์ความเร่งในระนาบ XY มากกว่า 2 g และผลรวมความเร่งเวกเตอร์ทุกค่ามากกว่า 6 g

Zhang[27] และVo[8]นำเสนอการใช้สมาร์ทโฟนช่วยวิเคราะห์การหกล้ม โดยอาศัยข้อมูลจากมาตรวัดความเร่งข้างในตัวโทรศัพท์ Chankyu[28] นำเสนอมาตรวัดความเร่งสวมข้อมือรูปรางคล้ายนาฬิกาที่น้ำหนักเบาและกินพลังงานน้อย

Mathie[29] ใช้มาตรวัดความเร่งสามแกนติดไว้บริเวณเอว และทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยอาศัยตัวแปรหลายอย่างเช่นองศาการเอียง อัตราเร่ง ระยะเวลาที่อยู่ในท่านั้นๆ ทำให้ระบบดังกล่าวมีความไวถึง 98% และมีความจำเพาะเจาะจงระหว่าง 84% ถึง 94%

Prado[30]พัฒนามาตรวัดความเร่ง 4 แกนชนิดแผ่น สามารถนำไปติดไว้บริเวณก้นกบเพื่อตรวจจับการหกล้ม ในปี พ.ศ. 2550 Bourke[22], [31] นำเสนอวิธีการตรวจจับการหกล้มด้วยข้อมูลจากมาตรวัดความเร่งสามแกนและใจโรสโคปที่มีความแม่นยำถึง 100%

อุปกรณ์ตรวจจับการหกล้มแบบสวมใส่นั้นมีทั้งจุดเด่นและจุดด้อย จุดเด่นอยู่ที่การใช้งานที่สะดวกสบาย การออกแบบที่ไม่ซับซ้อน ส่วนจุดด้อยนั้นอยู่ที่มีความจำเป็นต้องสวมใส่ตลอดเวลาซึ่งผู้สูงอายุส่วนมากรู้สึกไม่สะดวกที่ต้องสวมใส่ และในบางกรณีตัวอุปกรณ์ต้องสัมผัสกับผิวหนังตลอดเวลาหากมีการเคลื่อนไหวมากเป็นเวลานานอาจจะหลุดหรือเลื่อนได้ ด้วยเหตุผลดังกล่าวทำให้ถึงแม้ว่าจะเป็นอุปกรณ์แบบแรกที่ได้รับการวางจำหน่ายในท้องตลาดแต่ก็ยังไม่ได้รับความนิยมมากนัก[32]

### 2.1.2 กลุ่มที่ใช้อุปกรณ์ถ่ายภาพ

กลุ่มนี้จะส่วนใหญ่จะใช้กล้องวิดีโอเป็นอุปกรณ์นำเข้าข้อมูลและใช้กระบวนการประมวลผลภาพในการวิเคราะห์ว่าบุคคลในภาพเคลื่อนไหวนั้นหกล้ม

หรือไม่ ซึ่งวิธีการในการวิเคราะห์นั้นสามารถแบ่งได้ดังนี้ วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลง  
สัดส่วนของร่างกาย วิเคราะห์ท่าทางของร่างกาย วิเคราะห์ศีรษะแบบสามมิติ เดือน  
เมื่อคนหยุดเคลื่อนไหวเป็นระยะเวลานาน และวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของร่างกาย



ภาพที่ 2-2 ชนิดของระบบตรวจจับการหกล้มด้วยอุปกรณ์ถ่ายภาพจำแนกตามวิธีที่ใช้

ในปี พ.ศ. 2543 Wu[20] ค้นพบว่าความเร็วทั้งในแนวตั้งและแนวนอนใน  
ภาวะการหกล้มนั้นมากกว่าในภาวะควบคุมถึงสามเท่า จากงานวิจัยดังกล่าวทำให้  
Nait-Charif[33] และ Rougier[34] สร้างอัลกอริทึมติดตามศีรษะและตรวจจับการหกล้ม  
ด้วยพาร์ติเคิลฟิลเตอร์(Particle Filter)

Foroughi[35]ใช้วิธีการสร้างวงรีบริเวณร่างกายของคนแล้วบันทึกการ  
เปลี่ยนแปลงตำแหน่งของศีรษะตามระยะเวลา และข้อมูลการเปลี่ยนแปลงรูปร่างวงรี  
จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโครงข่ายเส้นประสาทเพื่อตรวจจับการหกล้ม และการ  
เคลื่อนไหวร่างกายรูปแบบอื่นๆ

Miaou[36] ใช้กล้องถ่าย 360 องศาติดตั้งไว้บนเพดานแล้ววิเคราะห์จากภาพ โดยสร้างกรอบล้อมรอบตัวคนแล้ววิเคราะห์อัตราส่วนระหว่างความกว้างต่อความยาวในแต่ละเฟรม จากนั้นจึงวิเคราะห์ข้อมูลอัตราส่วนของ 6 เฟรมล่าสุดเพื่อดูความเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วน โดยวิธีนี้มีความแม่นยำที่ 70% แต่เมื่อใส่ข้อมูลส่วนตัว เช่น ส่วนสูง น้ำหนัก อายุ และเพศ เข้าไปด้วยจะทำให้ความแม่นยำเพิ่มขึ้นเป็น 81%

Tao[37] พัฒนาวิธีการของ Miaou โดยใช้กล้องธรรมดา ผลที่ได้คือเมื่อวางกล้องไว้บนโต๊ะในแนวระนาบจะให้ความแม่นยำสูงสุด 96.0% แต่หากติดตั้งกล้องไว้บนเพดานความแม่นยำสูงสุดจะลดลงเหลือ 93.3% และไม่สามารถตรวจจับการหกล้มในบางทิศทางได้

Williams[38] นำเสนอการใช้เครือข่ายของกล้องในการตรวจจับตำแหน่งที่เกิดการหกล้มขึ้น โดยแต่ละจุดจะประกอบด้วยกล้อง แสงวงจรวเคราะห์ข้อมูล และอุปกรณ์ส่งสัญญาณ Wifi โดยระบบนี้ต้องการกล้องที่ผ่านการкалиเบรตำแหน่งของตัวเองแล้ว 1 ตัวที่จะใช้เป็นตัวหลักในการแปลงตำแหน่งของคนที่ยืนไปผู้พิทักษ์ในโลกความเป็นจริง ส่วนการวิเคราะห์การหกล้มจะใช้ข้อมูลสัดส่วนของร่างกาย

การใช้ไคนectตรวจจับการหกล้มเริ่มมีผลงานวิจัยออกเผยแพร่เมื่อ พ.ศ. 2553 โดย Caroline[39] วิเคราะห์จากความเร็วและ ความสูงจากพื้นของจุดศูนย์กลางร่างกาย และการนอนนิ่งอยู่กับพื้นเป็นระยะเวลาานาน เพื่อวิเคราะห์ว่าคนนั้นหกล้มหรือไม่

Gill[40] ได้นำขั้นตอนวิธีวิเคราะห์ตัวบุคคลโดยใช้สีผิว รูปร่างศีรษะและส่วนส่วน ที่เคยใช้สำหรับกล้องสเตอริโอสโคปิก(Stereoscopic)มาประยุกต์ใช้กับข้อมูลสามมิติจากไคนectทำให้สามารถพัฒนาระบบที่ทำงานได้แม้ในสถานที่ซึ่งมีแสงน้อย

Mastorakis[41]ใช้อัตราส่วนของ 3D Bounding Box รวมทั้งการวัดความเร็วในการเปลี่ยนแปลงความสูงของ Bounding Box ในการวิเคราะห์การหกล้ม

Rainer[42] ใช้การวัดองศาระหว่างพื้น กับเส้นตรงที่เชื่อมจุดต่างๆระหว่าง สะโพกและศีรษะเพื่อวิเคราะห์ท่าทางว่าอยู่ในท่ายืนหรือท่าล้ม

Rutkowski[43] ใช้โคเนกต์ร่วมกับมาตรวัดความเร่งในการเก็บข้อมูล ความเร่ง ความเร็วเชิงมุม และจุดศูนย์กลางของร่างกายมาวิเคราะห์โดย Fuzzy Interference System

Nghiem[44] นำเสนอระบบตรวจจับตำแหน่งศีรษะด้วยข้อมูลความลึก จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ ร่วมกับตำแหน่งศูนย์กลางร่างกายมาวิเคราะห์การหกล้ม

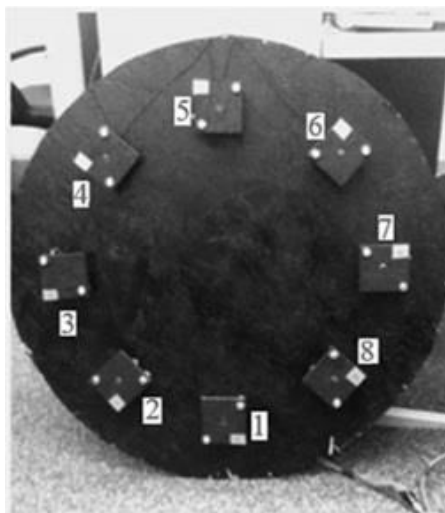
Zhang[45] ใช้วิธีการทางสถิติในการประเมินตำแหน่งของส่วนศีรษะของ ร่างกายคนจากนั้นจึงวัดและวิเคราะห์การหกล้มจากข้อมูลห้าอย่างคือ ระยะเวลาที่เกิด การล้ม ระยะทางที่ศีรษะตกลงมา ความเร็วสูงสุด ความสูงจากพื้นของศีรษะ และ จำนวนภาพที่ความสูงของศีรษะลดลง

### 2.1.3 ระบบผสมผสาน และระบบอื่นๆ

ระบบตรวจจับการหกล้มในกลุ่มนี้อาจจะใช้ข้อมูลจากหลายๆแหล่งมา รวมกันเช่นภาพและเสียง หรืออาจใช้เสียงหรือความสั่นสะเทือนในการจำแนกการ หกล้ม งานวิจัยในกลุ่มนี้มีจำนวนไม่มากนัก

Zhuang[46] ใช้ฟาร์ฟิลด์ไมโครโฟน(Far Field Microphone)เพียงตัวเดียวใน การรับสัญญาณแล้วจำแนกการหกล้มด้วยแบบจำลองเกาส์เซียนมิกซ์เจอร์ (Gaussian Mixture Model) Li[21] นำเสนอวิธีการใช้แผงไมโครโฟนในการตรวจจับการหกล้ม ที่ใช้การวิเคราะห์ตำแหน่งของเสียง ซึ่งสามารถใช้งานได้ภายใต้สภาพที่มีเสียง รบกวนและในสถานที่ซึ่งเสียงก้อง Alwan et.al[47] พัฒนาพื้นที่สามารถตรวจจับ แรงสั่นสะเทือนที่บ่งบอกถึงการหกล้มได้จากการวิเคราะห์รูปแบบการสั่นของพื้น โดยที่พื้นจะส่งไว้ด้วยเปียโซอิเล็กทริกเซนเซอร์(Piezoelectric Sensor) เพื่อรับ แรงสั่นสะเทือนและส่งข้อมูลไปยังแผงวงจรที่ใช้พลังงานจากถ่านไฟฉาย โดย

แผนผังวิเคราะห์วิเคราะห์ข้อมูลการสั้นและส่งสัญญาณเตือนออกไป ในกรณีที่เกิดการ  
หกล้ม



ภาพที่: 2-3 ไมโครโฟนสำหรับตรวจจับการหกล้ม[21]

Toreyin และ Soyer[48] ใช้เซนเซอร์หลายแบบผสมกัน โดยรวมข้อมูลจาก  
สัญญาณเสียง การสั้นสะเทือน และข้อมูลตำแหน่งของคน จากอินฟราเรดเซนเซอร์  
แล้วนำข้อมูลทั้งหมดที่ได้ มาฝึกด้วยแบบจำลองฮิดเดนมาร์คอฟ (Hidden Markov  
Model )

## 2.2 กล้องไคเนกต์

บริษัทไมโครซอฟท์ได้วางจำหน่ายไคเนกต์เมื่อเป็นครั้งแรกเมื่อวันที่ 4 ธันวาคม  
พ.ศ. 2553 ในฐานะที่เป็นอุปกรณ์เชื่อมต่อของเครื่องเล่นเกมเอ็กซ์บ็อกซ์ 360 สำหรับใช้  
ตรวจจับการเคลื่อนไหวของผู้เล่นเพื่อนำไปใช้ควบคุมเกมส์ แต่แนวคิดที่จะใช้ร่างกายผู้  
เล่นในการควบคุมเกมส์นั้นเกิดขึ้นก่อนหน้านั้นหลายปีเริ่มจากอายุทอย ของบริษัทโซนี่ใน  
ปี พ.ศ. 2546[49] ที่ใช้กล้องดิจิทัลร่วมกับซอฟต์แวร์วิเคราะห์การเคลื่อนไหว ตามมาด้วยวี  
โมท ของบริษัทนินเทนโดในปี พ.ศ. 2549[50] ที่ใช้มาตรวัดความเร่งร่วมกับระบบ  
อินฟราเรด ในการระบุตำแหน่งและท่าทางของเครื่องบังคับที่อยู่ในมือของผู้เล่น





EyeToy (พ.ศ. 2546 )



Wii Remote (พ.ศ. 2549 )

### ภาพที่: 2-4 อายทอย และวีรี โมท

ในขณะที่อายทอยไม่ค่อยได้รับความนิยมมากนัก ส่วนวีรี โมทประสบความสำเร็จในฐานะอุปกรณ์เล่นเกมอย่างสูง แต่ไคเนคต์กลับได้รับความนิยมอย่างมาก ในหมู่นักวิจัยนอกเหนือจากการเป็นอุปกรณ์เล่นเกมสั่นเป็นเพราะตัวไคเนคต์เองนั่นคือ กล้องตรวจวัดความลึก ที่มีราคาถูกเมื่อเทียบกับอุปกรณ์ที่มีอยู่ตามท้องตลาดนั่นเอง โดยในขณะที่ราคาของกล้องไทม์ออฟฟลายท์(Time of Flight Camera) ณ ขณะนั้น(พ.ศ. 2553) อยู่ที่ระดับมากกว่า 290,000 บาท (10,000 เหรียญสหรัฐ)[51] แต่ราคาเปิดตัวของไคเนคต์กลับอยู่ที่ 4,300 บาท(149 เหรียญสหรัฐ) เท่านั้น

ด้วยความสามารถของไคเนคต์ที่สามารถระบุตำแหน่งของวัตถุในสามมิติได้ในราคาที่ถูกลงมากทำให้นักวิจัยจำนวนมากทำการศึกษาหาทางนำเครื่องไคเนคต์มาใช้งาน โดยมาตรวจวัดความกระตือรือร้นของนักวิจัยและผู้สนใจประยุกต์ใช้งานเครื่องไคเนคต์นี้ สามารถดูได้จากจำนวนงานวิจัยจากฐานข้อมูล Google Scholar ที่มีจำนวนงานวิจัยหรือบทความที่เกี่ยวกับไคเนคต์ถึง 7540 ชิ้น หรืออาจจะนับจากจำนวนผลงานตีพิมพ์ 294 ฉบับ จากฐานข้อมูล Science Direct และถ้าดูจากฐานข้อมูลของ IEEE ก็มีจำนวนผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์แล้วถึง 489 ฉบับ จะเห็นได้ว่าในระยะเวลาเพียงสองปีที่วางจำหน่ายก็มีผลงานวิจัยออกมาเป็นจำนวนมากแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของไคเนคต์ในการนำมาใช้งานได้เป็นอย่างดี

## 2.2.1 ส่วนประกอบของไคเนกต์

ส่วนประกอบที่สำคัญของไคเนกต์ คือเซ็นเซอร์ตรวจจับความลึกที่เป็นเทคโนโลยีของบริษัทไมโครซอฟท์ ประกอบไปด้วยแผงรับแสงอินฟราเรด และหลอดไฟอินฟราเรด โดยมีสมบัติตามตารางที่ 2-1

ส่วนกล้องอีกตัวหนึ่งนั้น เป็นกล้องภาพสีอาร์-จี-บี ความละเอียดสูงสุด 1280x960 พิกเซล ที่ความเร็ว 12 ภาพต่อวินาที หรือสามารถถ่ายภาพได้ที่ 640x480 พิกเซลที่ความเร็ว 30 ภาพต่อวินาที นอกจากนั้นด้านล่างของไคเนกต์เองยังมีแผงไมโครโฟนจำนวน 4 ตัวติดอยู่อีกด้วยสำหรับใช้ร่วมกับระบบวิเคราะห์คำพูดเพื่อใช้สำหรับการสั่งการด้วยเสียงได้



ภาพที่: 2-5 กล้องไคเนกต์

ตารางที่: 2-1 สมบัติของกล้องอินฟราเรดของไคเนกต์[52]

|                          |                                                 |
|--------------------------|-------------------------------------------------|
| ระยะการทำงาน             | 1.2 - 4.0 เมตร(Default)<br>0.4 - 3.0 เมตร(Near) |
| องศาการรับภาพแนวนอน      | 43°                                             |
| องศาการรับภาพแนวตั้ง     | 57°                                             |
| จำนวนภาพต่อวินาที        | 30 ภาพต่อวินาที                                 |
| ความละเอียดสัญญาณความลึก | 640 x 480 พิกเซล                                |

## 2.2.2 ทฤษฎีการวัดตำแหน่งวัตถุในสามมิติของไคเนกต์

ไคเนกต์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้หลักการสตรักเจอร์ไลท์(Structured Light)[53]ในการคำนวณหาตำแหน่งวัตถุในสามมิติ โดยใช้วิธีการฉายลวดลายด้วยแสงอินฟราเรด แล้วตรวจวัดความแตกต่างภาพลวดลายที่ปรากฏบนแผงรับสัญญาณอินฟราเรดกับลวดลายอ้างอิง[54] ซึ่งความแตกต่างของข้อมูลทั้งสองชิ้นนั้นสามารถนำไปคำนวณหาพิกัดใน 3 มิติได้ ดังที่ได้แสดงหลักการโดยสังเขปไว้ในภาพที่ 2-6

|                                                                                     |                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
|   | Kinect จะฉายลวดลายที่ประกอบด้วยจุดจำนวนมากด้วยแสงอินฟราเรด            |
|  | เมื่อมีวัตถุขวางอยู่ พิกัดของจุดบนลวดลายนั้นจะเลื่อนไปตามระยะของวัตถุ |
|  | ผลลัพธ์จากการคำนวณความลึกของทุกๆจุดจะกลายเป็นภาพความลึก               |

ภาพที่: 2-6 หลักการทำงานของไคเนกต์โดยสังเขป

Khoshelham [55] ได้แสดงว่าสามารถคำนวณหาค่าความลึกของวัตถุด้วยวิธีการทางตรีโกณมิติ ดังที่ปรากฏในภาพที่ 2-7 ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของวัตถุ  $k$  กับระยะเลื่อนของจุด  $d$  ในการแสดงพิกัดสามมิติของวัตถุเมื่อกำหนดให้ความลึกของวัตถุมีจุดกำเนิดที่กึ่งกลางของกล้องอินฟราเรด และให้แกน  $Z$  ตั้งฉากกับระนาบของภาพ โดยมีทิศทางพุ่งเข้าหาวัตถุ ส่วนแกน  $X$  ตั้งฉากกับแกน  $Z$

ในแนวที่ขนานกับเส้นฐานที่  $b$  ที่ลากระหว่าง กล้องอินฟราเรดกับหลอดอินฟราเรด และให้แกน  $Y$  ตั้งฉากกับแกน  $X$  และ  $Z$

หากสมมติให้วัตถุอยู่บนระนาบอ้างอิง ที่ระยะ  $Z_0$  ภาพของวัตถุนั้นจะตกลงบนแผงรับสัญญาณอินฟราเรดที่ตำแหน่งหนึ่ง แต่ถ้าความลึกของวัตถุเปลี่ยนแปลงไปตำแหน่งของภาพของวัตถุนั้นจะเลื่อนไปตามแนวแกน  $X$  นั้นหมายความว่าระยะที่จุดภาพเลื่อนไป ( $d$ ) นั้นสัมพันธ์กับความลึกของวัตถุ จากความสัมพันธ์ดังกล่าวทำให้เราสามารถหาระยะห่างของวัตถุจากแผงรับสัญญาณอินฟราเรดได้ หรือที่เราเรียกว่าค่าความลึก ( $Z_k$ )

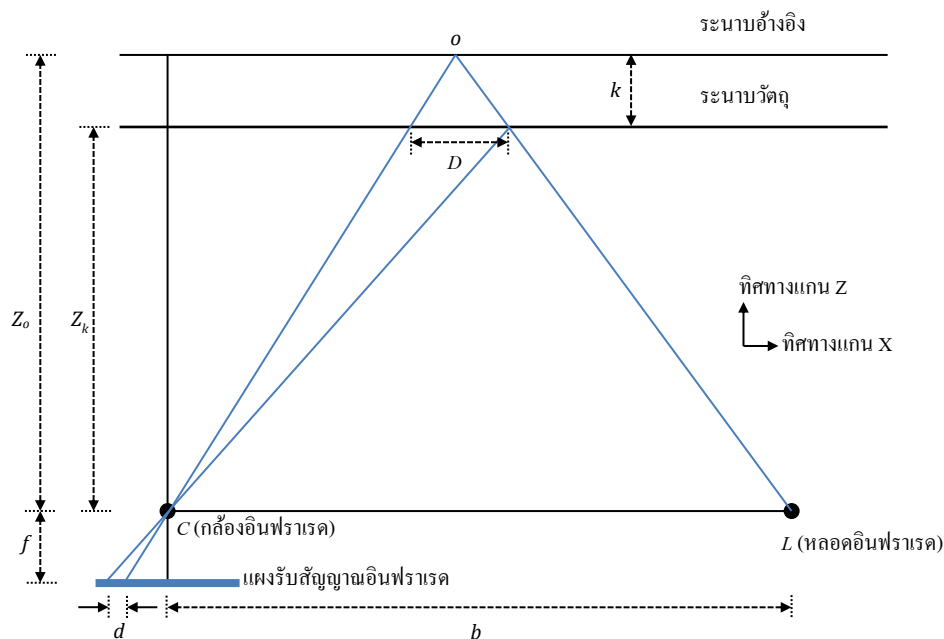
ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งที่เปลี่ยนไป  $d$  กับความลึกของวัตถุ  $k$  สามารถหาได้จากทฤษฎีสากลเหลี่ยมคล้ายตามสมการ (2-1) และ (2-2)

$$\frac{D}{b} = \frac{Z_0 - Z_k}{Z_0} \quad (2-1)$$

$$\frac{d}{f} = \frac{D}{Z_k} \quad (2-2)$$

เมื่อแทนค่า  $D$  จากสมการที่ (2-2) ลงไปในสมการที่ (2-1) ก็จะได้สมการ (2-3) ที่แสดงค่าความลึกของวัตถุนั้นๆ

$$Z_k = \frac{Z_0}{1 + \frac{Z_0 d}{fb}} \quad (2-3)$$



ภาพที่: 2-7 การคำนวณหาระยะด้วยวิธีการทางตรีโกณมิติของเครื่องโคเนกต์

โดยสมการ (2-3) จะเป็นสมการพื้นฐานที่ใช้ในการหาค่าความลึก เมื่อเราได้ค่าคงที่  $Z_o$ ,  $f$  และ  $b$  จากการคาบิเบรท ส่วนค่าตำแหน่งในแนวระนาบของวัตถุหาได้จากสมการที่ (2-4) และ (2-5) โดยค่า  $\delta x$  และ  $\delta y$  คือค่าสำหรับแก้ไขความบิดเบี้ยวของเลนส์

$$X_k = \frac{Z_k}{f} (x_k - x_o + \delta x) \quad (2-4)$$

$$Y_k = \frac{Z_k}{f} (y_k - y_o + \delta y) \quad (2-5)$$

จะเห็นได้ว่าหากเราต้องการหาค่าตำแหน่งของวัตถุจากสมการที่ (2-3) (2-4) และ (2-5) เราจำเป็นต้องทราบค่าตัวแปรดังนี้

- ก) ทางยาวโฟกัส ( $f$ )
- ข) ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางกลางเลนส์กล้องอินฟราเรด ( $x_o, y_o$ )
- ค) ค่าความบิดเบี้ยวของเลนส์ ( $\delta x, \delta y$ )

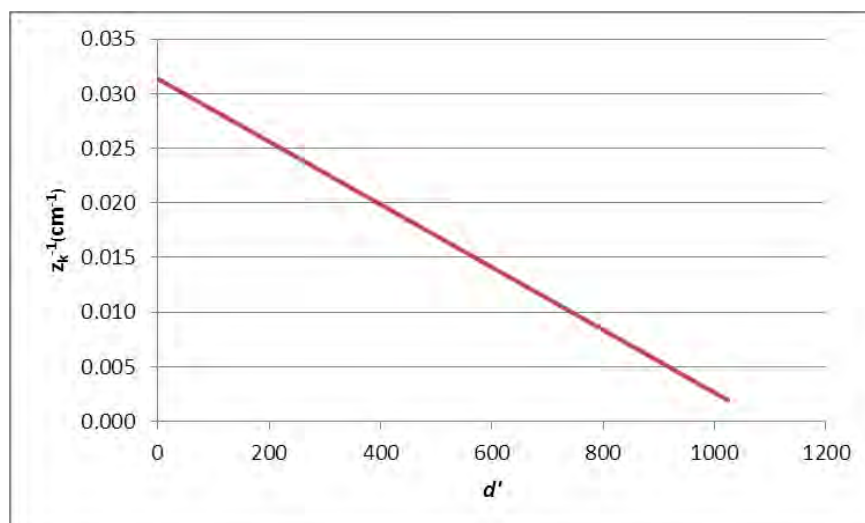
- ง) ความยาวของเส้นฐาน ( $b$ )  
 จ) ระยะของระนาบอ้างอิง ( $Z_0$ )

ค่า  $g$ ,  $x$  และ  $c$  นั้นวัดได้จากตัวกล้องซึ่งอยู่นอกเหนือของเขตของงานวิจัย  
 ชั้นนี้ ผู้ที่สนใจสามารถหาอ่านเพิ่มเติมได้จากงานวิจัยของ Khoshelham [55] ส่วนค่า  
 $g$  และ  $j$  นั้น ไม่สามารถหาได้โดยตรงจากการวัดค่าที่ออกมาจากกล้องเนื่องจากเป็น  
 ค่าที่ผ่านการบีบอัดมาแล้ว แต่ในทางปฏิบัติค่า  $d$  ที่ได้นั้นเป็นค่าที่ผ่านการนอร์  
 มัลไลซ์ ให้อยู่ในช่วง  $0 - 2047$  มาแล้วดังนั้นเราจึงทำการแทนค่า  $d$  ในสมการ (2-3)  
 ด้วย  $md'+n$  โดย  $d'$  คือค่า  $d$  ที่ผ่านการนอร์มัลไลซ์ มาแล้ว ส่วน  $m, n$  คือ ค่า  
 สัมประสิทธิ์ เมื่อเราแทนค่าและทำการอินเวิร์สเราก็จะได้สมการดังนี้

$$Z_k^{-1} = \left(\frac{m}{fb}\right) d' + (Z_0^{-1} + \frac{n}{fb}) \quad (2-6)$$

ซึ่งสมการ (2-6) แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างส่วนกลับของความลึก  
 กับค่า  $d'$  จากสมการนี้ทำให้เราทราบว่าถ้าเรารู้ค่า  $d'$  ของวัตถุที่อยู่ในระยะต่างๆเรา  
 สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้นด้วยวิธีวิเคราะห์แบบถดถอยเชิงเส้นได้ โดยกราฟที่  
 ได้จากสมการ (2-6) ที่ได้จากการทดลองของ Khoshelham[55] เป็นไปตามภาพที่เห็น  
 ในแผนภูมิที่ 2-2

**แผนภูมิที่: 2-2** แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่าง  $Z_k^{-1}$  กับ  $d'$



### 2.3 ข้อเด่นและข้อด้อยของไคเนกต์เมื่อเทียบกับอุปกรณ์ชนิดอื่นๆ

|                                  | กล้องสองมิติ   | ไคเนกต์           | มาตรวัดความเร่ง  |
|----------------------------------|----------------|-------------------|------------------|
| ราคา(เฉพาะอุปกรณ์)               | 500 – 2000 บาท | ~ 4500 - 7500 บาท | 7500 – 15000 บาท |
| ระยะทำการ                        | 1-6 เมตร       | 1-4 เมตร          | ไม่จำกัด         |
| การใช้งานในที่มืด                | ไม่ได้         | ได้               | ได้              |
| ความสามารถในการ<br>ดูภาพย้อนหลัง | ได้            | ได้               | ไม่ได้           |
| ต้องสวมใส่ติดตัว                 | ไม่ต้อง        | ไม่ต้อง           | ต้อง             |
| ความเป็นส่วนตัว                  | น้อย           | ปานกลาง           | มาก              |

ราคา – ไคเนกต์ต่ำกว่ามาตรวัดความเร่งแต่สูงกว่ากล้องธรรมดา

ระยะทำการ – ไคเนกต์มีระยะทำการที่ค่อนข้างสั้นเนื่องจากข้อจำกัดของเทคโนโลยีที่ความแม่นยำจะลดลงแบบเอกซ์โพเนนเชียล จึงเหมาะที่จะใช้ในบ้านหรือห้องที่มีขนาดไม่ใหญ่มากนัก

การใช้งานในที่มืด – เนื่องจากไคเนกต์มีแหล่งกำเนิดแสงอินฟราเรดในตัวเองดังนั้นจึงสามารถทำงานได้ในที่มืด ส่วนมาตรวัดความเร่งไม่ต้องใช้แสงในการทำงานจึงทำงานในที่มืดได้เช่นกัน

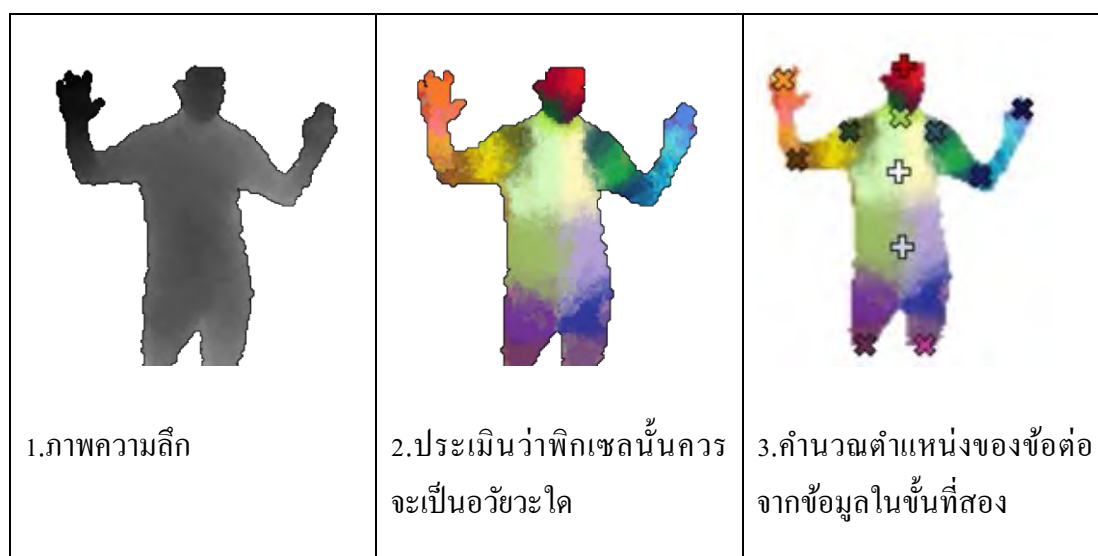
ความสามารถในการดูภาพย้อนหลัง – ทั้งกล้องธรรมดาและไคเนกต์มีความสามารถในการบันทึกภาพได้ ซึ่งสามารถใช้ลดความผิดพลาดของระบบโดยการส่งภาพให้มนุษย์ดูได้ว่าเกิดการหลอมนจริงหรือไม่ ส่วนแอกเซลเรอโรมิเตอร์ไม่มีความสามารถนี้

ต้องสวมใส่ติดตัว – มีเพียงแอกเซลเรอโรมิเตอร์เท่านั้นที่ต้องสวมใส่ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ไม่ค่อยได้รับความนิยม เนื่องจากความน่ารำคาญที่ต้องติดตัวตลอดเวลาตนเอง

ความเป็นส่วนตัว – ปัจจัยด้านความเป็นส่วนตัวได้รับการหยิบยกขึ้นมาเมื่อมีการพูดถึงอุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนไหวด้วยกล้อง โดยมีผู้กังวลว่าความเป็นส่วนตัวสามารถถูกรุกได้ถ้าได้ถ้าระบบถูกแทรกแซง หรือเป็นห่วงว่าผู้ดูแลระบบจะรุกรานความเป็นส่วนตัว ในหัวข้อนี้มาตรวัดความเร่งไม่มีข้อมูลภาพจึงไม่เป็นที่น่ากังวล ส่วนไคเนคต์ข้อมูลที่เก็บเป็นข้อมูลความลึกจึงไม่ค่อยมีผู้สนใจมากนัก

## 2.4 ข้อมูลสเกลตัน

ข้อมูลสเกลตันคือข้อมูลที่แสดงตำแหน่งข้อต่อส่วนต่างๆของร่างกายคน วิธีการหาข้อมูลสเกลตันจากภาพสองมิติและจากข้อมูลความลึกได้รับการกล่าวถึงอย่างละเอียดในรายงานของจันจิรา[56] ส่วนในกรณีของ Kinect SDK ที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีของ Shotton[57] ซึ่งใช้แมชชีนเลิร์นนิง(Machine Learning)จากฐานข้อมูลความลึกของคนจำนวนมากในท่าทางที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถหาตำแหน่งของข้อต่อได้ด้วยภาพความลึกเพียงภาพเดียว โดยจากภาพความลึกจะใช้วิธีการทางสถิติในการประเมินว่าส่วนไหนของภาพควรเป็นอวัยวะอะไร



ภาพที่: 2-8 วิธีการหาตำแหน่งข้อต่อจากข้อมูลความลึก

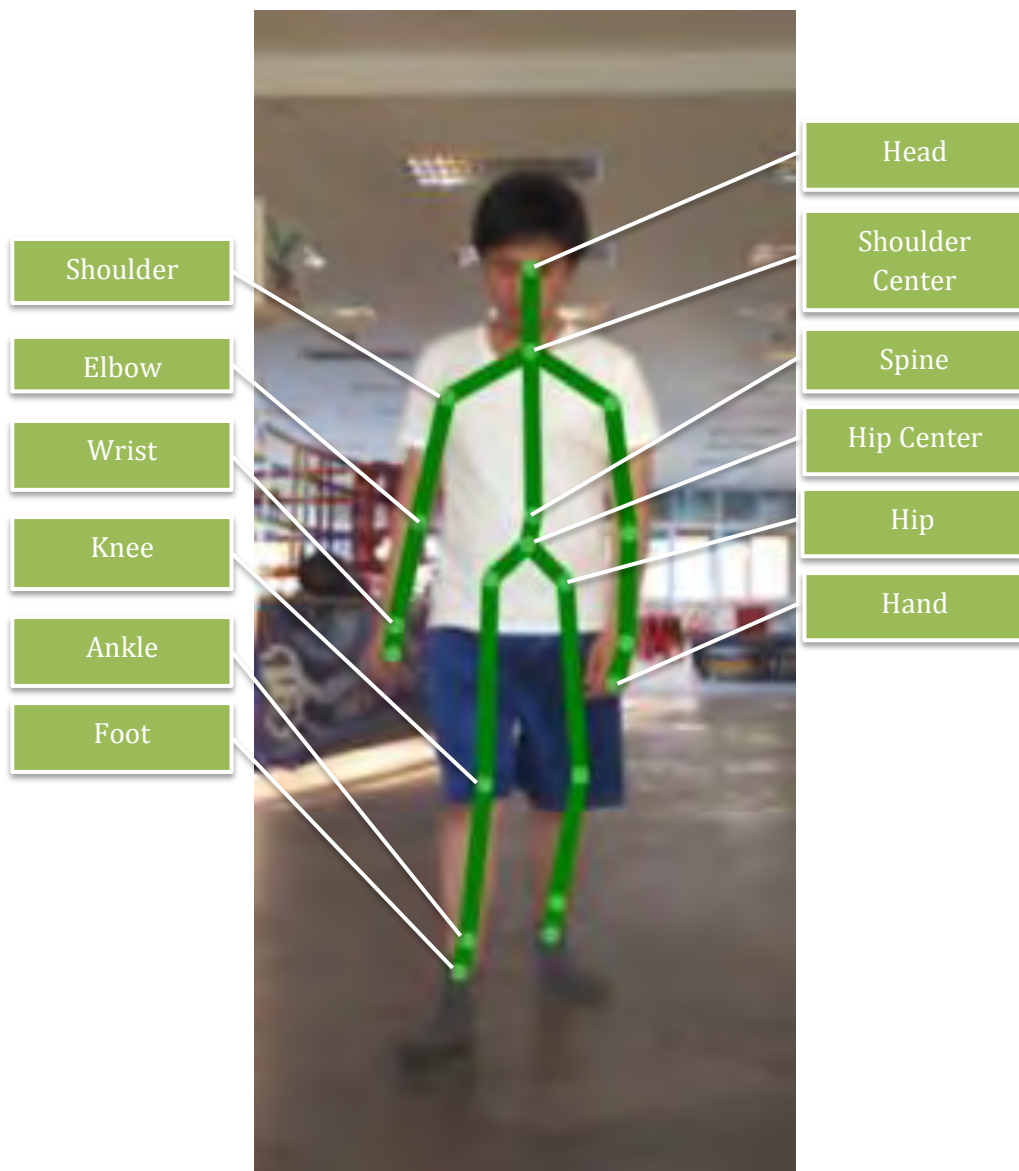
ขั้นตอนการหาตำแหน่งข้อต่อจากภาพความลึกนั้นจะเริ่มจากการวิเคราะห์ภาพความลึกด้วย Randomize decision trees and forest ที่ได้รับการฝึกมาด้วยข้อมูลจำนวนมาก



ผลที่ได้คือระบบจะสามารถประเมินได้ว่าพิกเซลนั้นๆควรจะเป็นอวัยวะใด เมื่อประเมินครบทุกจุดที่เป็นร่างกายคนแล้วก็จะใช้วิธี Local mode-finding ในการประเมินตำแหน่ง

#### 2.4.1 ข้อมูลข้อต่อ

ข้อมูลข้อต่อจาก Kinect SDK นี้จะประกอบไปด้วยข้อต่อจำนวน 20 ตำแหน่งตามภาพที่ 2-9 โดยข้อมูลของข้อต่อแต่ละตำแหน่งจะอยู่ในรูปพิกัดคาร์ทีเซียน  $x$   $y$  และ  $z$  ที่มีจุดกำเนิดอยู่ที่จุดศูนย์กลางของกล้องอินฟราเรด



ภาพที่: 2-9 ตำแหน่งข้อต่อในข้อมูลสเกลดัน

## 2.4.2 การลดสัญญาณรบกวนในข้อมูลข้อต่อ

ข้อมูลข้อต่อนั้นจะมีสัญญาณรบกวนอยู่เป็นปกติซึ่งอาจจะเกิดจากปัจจัยหลายอย่างเช่น สภาพแสงรอบข้าง เสื้อผ้าที่สวมใส่ ระยะห่างจากกล้อง ทำทางที่ทำอยู่ รวมถึงสัญญาณรบกวนในตัวระบบเอง ดังนั้นก่อนที่จะนำข้อมูลไปใช้งานจึงต้องมีการลดสัญญาณรบกวนในข้อมูลโดยอาศัยฟิลเตอร์ ซึ่งเราเรียกฟิลเตอร์เหล่านั้นว่า Smoothing Filter

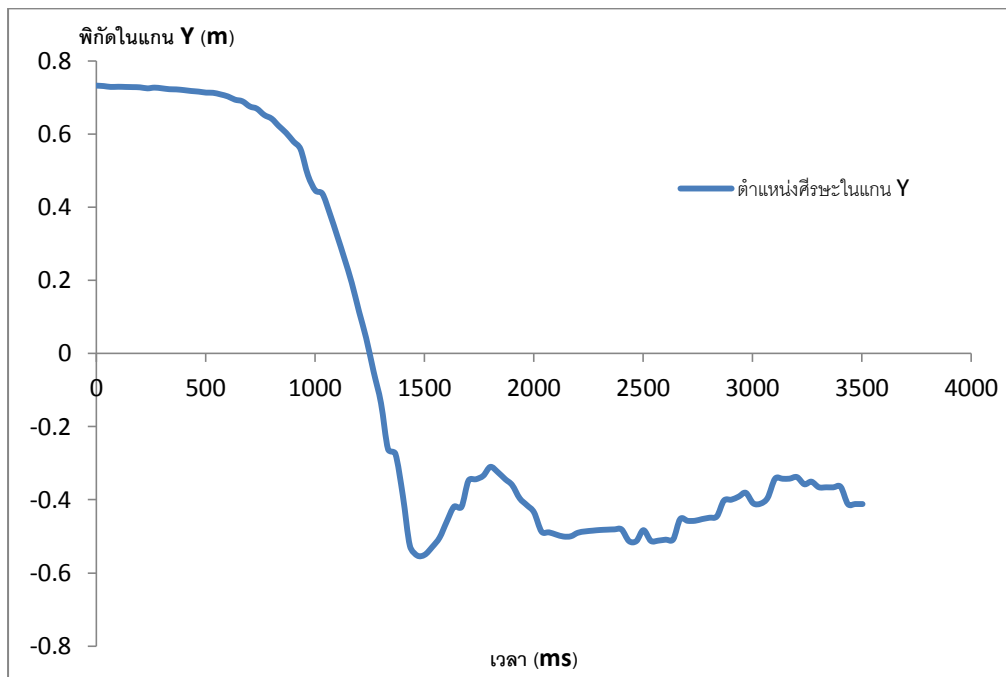
สัญญาณรบกวนในข้อมูลข้อต่อนั้นมีสองชนิดคือ White Noise ที่มีขนาดไม่มากนักและเกิดขึ้นกับทุกส่วนของร่างกายเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของระบบ และชนิดที่สองคือ Spike Noise ที่เกิดขนาดใหญ่ในระยะเวลาสั้นๆเนื่องจากความไม่แม่นยำของระบบ เนื่องจากสัญญาณรบกวนทั้งสองแบบนี้มีสมบัติที่แตกต่างกัน เราจึงต้องใช้วิธีที่แตกต่างกันในการตรวจจับและลดสัญญาณรบกวนทั้งสองแบบ[58]

### 2.4.2.1 ผลของสัญญาณรบกวนที่มีต่อการวิเคราะห์ข้อมูล

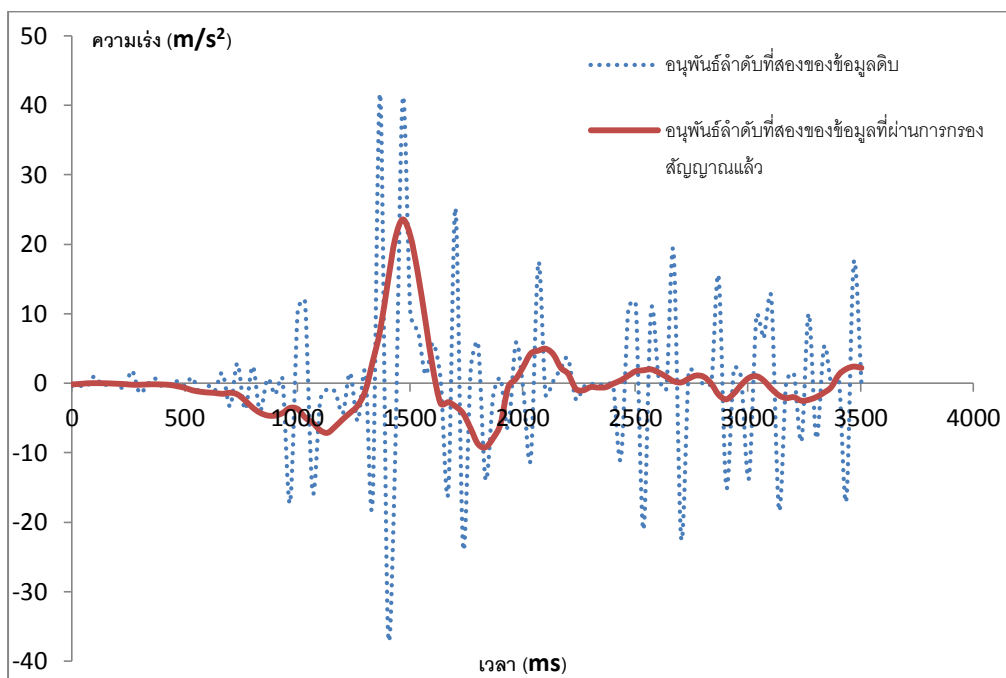
สัญญาณรบกวนนั้นแม้จะมีจำนวนเล็กน้อยแต่หากเราทำการคำนวณจากข้อมูลที่มีสัญญาณรบกวนก็มีความเป็นไปได้ที่สัญญาณรบกวนเหล่านั้นจะถูกขยายจนเราไม่สามารถเห็นสัญญาณจริงที่เราสนใจได้ ดังเช่นตัวอย่างจากภาพจะเห็นว่าข้อมูลดิบ (แผนภูมิที่ 2-3) มีสัญญาณรบกวนเพียงเล็กน้อย แต่ทว่ากลับทำให้ผลการคำนวณค่าอนุพันธ์ลำดับที่สองผิดเพี้ยนไปอย่างมากเมื่อเทียบกับการคำนวณหลังจากลดสัญญาณรบกวนลงแล้ว (แผนภูมิที่ 2-4)

เมื่อเราปฏิบัติการทางคณิตศาสตร์กับข้อมูลที่มีสัญญาณรบกวน ยิ่งทำมากครั้งเท่าใดค่าความผิดเพี้ยนก็จะเพิ่มขึ้นเท่านั้น เราเรียกปรากฏการณ์เช่นนี้ว่า Error Propagation ดังนั้นเราจึงต้องลดสัญญาณรบกวนให้มากที่สุดก่อนที่จะนำข้อมูลไปคำนวณขั้นต่อไปเพื่อป้องกันความผิดเพี้ยน

แผนภูมิที่: 2-3 ข้อมูลดิบตำแหน่งของศีรษะในแกน Y



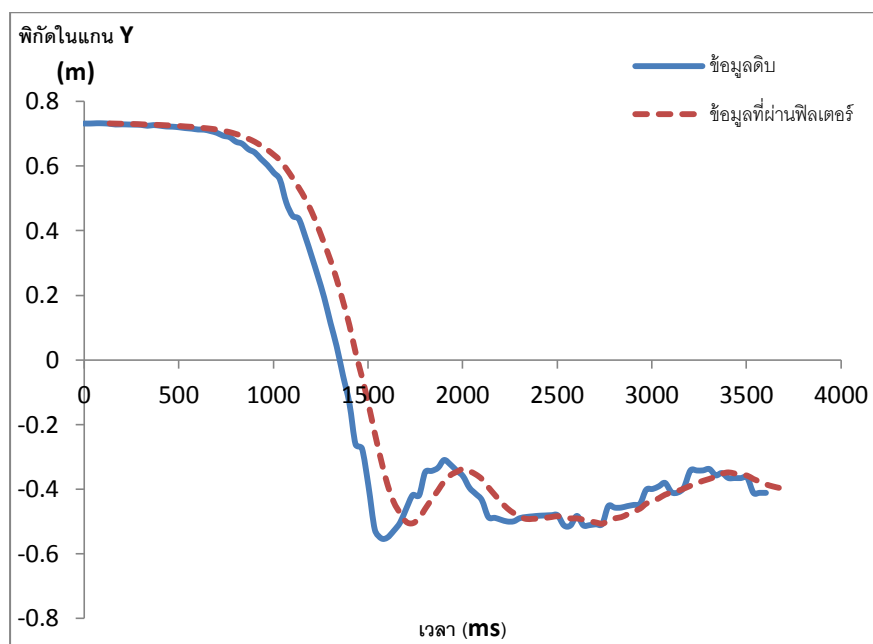
แผนภูมิที่: 2-4 เปรียบเทียบอนุพันธ์ลำดับที่สองของข้อมูลดิบและข้อมูลที่ผ่านการกรองสัญญาณรบกวนแล้ว



#### 2.4.2.2 เทคนิคในการฟิลเตอร์กับความล่าช้าของการตอบสนองต่อการเคลื่อนไหว

ความล่าช้าในการตอบสนองหมายความว่าเวลาที่ผ่านไปนับตั้งแต่คนๆนั้นเคลื่อนไหวจนถึงเวลาที่โปรแกรมตอบสนองต่อการเคลื่อนไหวนั้น จากการสำรวจพบว่า 72% ของเข้าร่วมรายงานว่ารับรู้ความล่าช้าต่อการตอบสนองเมื่อความล่าช้ามีค่ามากกว่า 100 ms ดังนั้นการออกแบบโปรแกรมที่ต้องตอบสนองต่อการเคลื่อนไหวของผู้ใช้ควรเลือกวิธีที่ไม่ทำให้ค่าการตอบสนองมากกว่า 100 ms โดยจะเห็นได้จากแผนภูมิที่ 2-5 ว่าข้อมูลที่ผ่านการกรองสัญญาณแล้วมีความล่าช้ามากกว่าข้อมูลดิบ โดยความล่าช้าจะขึ้นอยู่กับชนิดของฟิลเตอร์และจำนวนข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณค่าของฟิลเตอร์นั้นๆ โดยยิ่งใช้จำนวนข้อมูลในการคำนวณเท่าใดความล่าช้าก็จะยิ่งเกิดขึ้นมากเท่านั้น

แผนภูมิที่: 2-5 ความล่าช้าที่เกิดจากการกรองข้อมูล



วิธีที่นิยมใช้กันในการเพิ่มความเร็วการตอบสนองคือการตัดแปลงฟิลเตอร์ให้สามารถทำนายตำแหน่งของข้อต่อล่วงหน้าได้ ซึ่งวิธีการนี้สามารถลดระยะเวลาการตอบสนองได้แต่ทว่าการทำนายอนาคตจากข้อมูลอดีตนั้นสามารถเกิดความผิดพลาดได้ โดยเฉพาะกรณีที่เกิดการเคลื่อนไหวอย่างกะทันหัน

ในการเลือกใช้ฟิลเตอร์นั้นเราต้องเลือกระหว่างความสามารถในการลดสัญญาณรบกวนและความเร็วในการตอบสนอง ยิ่งลดสัญญาณรบกวนมาก ความเร็วในการตอบสนองจะเพิ่มขึ้น และในทางกลับกันยิ่งลดความเร็วในการตอบสนองเท่าใดความสามารถในการลดสัญญาณรบกวนก็ยิ่งน้อยลงเท่านั้น ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ฟิลเตอร์ที่มีระยะเวลาในการตอบสนองสูงและจะไม่ใช้การทำนายตำแหน่งในอนาคตเนื่องจากโปรแกรมไม่ต้องการโต้ตอบกับมนุษย์จึงไม่จำเป็นต้องกังวลเรื่องระยะเวลาการตอบสนองมากนัก โดยเน้นความสำคัญที่การลดสัญญาณรบกวนเพื่อช่วยเพิ่มความแม่นยำของสัญญาณ

### 2.4.3 ฟิลเตอร์ลดสัญญาณรบกวนที่น่าสนใจ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงฟิลเตอร์ลดสัญญาณรบกวนที่น่าสนใจ

#### 2.4.3.1 สัญลักษ์ณที่ใช้ในสมการ

สัญลักษ์ณที่จะใช้ในการอธิบายสมการของฟิลเตอร์มีดังต่อไปนี้

$x_n$  = ค่าพิกัดในแนวแกน X ของข้อต่อ ณ จุด n

$xS_n$  = ค่าพิกัดในแนวแกน X ของข้อต่อที่ผ่านการฟิลเตอร์แล้ว ณ จุด n

### 2.4.3.2 Central Average Filter

เป็นฟิลเตอร์ชนิดที่เรียบง่ายที่สุดนั่นคือใช้การเฉลี่ยข้อมูลจากจำนวนจุด  $N$  จุดก่อนหน้านั้นและ  $M$  จุดหลังจากนั้น นั่นคือฟิลเตอร์นี้จะพยายามพิตค่า  $N+M+1$  จุดให้เข้ากับเส้นแนวราบนั่นเอง ผลทำให้ค่าที่ผ่านฟิลเตอร์ออกมาจะไม่สามารถถึงจุดสูงสุด และจุดต่ำสุดของสัญญาณได้เลย

$$x_{Sn} = \frac{1}{N+M+1} \sum_{i=-M}^N x_{n-i} \quad (2-7)$$

สำหรับฟิลเตอร์ชนิดนี้ยิ่งเราเพิ่มจำนวน  $N$  และ  $M$  เท่าไรการตอบสนองของฟิลเตอร์ก็ยิ่งช้าลงเท่านั้น ดังนั้นฟิลเตอร์ชนิดนี้จึงเหมาะกับงานที่ไม่ต้องตอบสนองต่อคนใช้ ฟิลเตอร์ชนิดนี้มักให้ผลลัพธ์ที่ไม่เป็นที่น่าพอใจนักในการทำงานกับข้อมูลข้อต่อเพราะว่าไม่สามารถรักษาข้อมูลที่สำคัญเอาไว้ได้เมื่อข้อต่อเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง

### 2.4.3.3 Moving Median

ผลลัพธ์ของฟิลเตอร์ชนิดนี้คือค่ามัธยฐานของข้อมูล  $N$  ค่าต่ำสุดประโยชน์ของฟิลเตอร์นี้คือสามารถกำจัดการกระโดดในข้อมูลได้เป็นอย่างดี โดยต้องเลือกค่า  $N$  ให้กว้างกว่าระยะที่ข้อมูลกระโดด และเช่นเดียวกับ 2.3.3.2 เวลาในการตอบสนองของฟิลเตอร์นี้แปรผันตรงกับค่า  $N$  ที่ใช้ในการคำนวณ

### 2.4.3.4 Exponential Smoothing filter

หรืออีกชื่อหนึ่งคือ exponentially weighted moving average(EWMA) นั้นมีลักษณะดังต่อไปนี้

$$x_{S_n} = \alpha x_n + (1 - \alpha)x_{S_{n-1}} \quad (2-8)$$

โดย  $\alpha$  คือ Dampening Factor ซึ่งมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 เราสามารถสร้างอนุกรมจากสมการ 2-9 ได้ดังนี้คือ

$$x_{S_n} = \alpha \sum_{i=0}^n (1 - \alpha)^i x_{n-i} \quad (2-9)$$

จะเห็นว่าค่าของ  $x_{S_n}$  ตำแหน่งใดๆจะเท่ากับค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักของข้อมูลในอดีตทั้งหมดซึ่งน้ำหนักนั้นจะมีค่าลดลงอย่างเอกซ์โพเนนเชียลตามระยะเวลาที่ห่างจาก  $x_n$  และเช่นเดียวกับ 2.3.3.2 ฟิเตอร์ชนิดนี้จะจัดข้อมูลเข้ากับเส้นแนวนอนโดยให้น้ำหนักกับข้อมูลล่าสุดมากกว่าข้อมูลเก่า

#### 2.4.3.5 Savitzky – Golay filter

ฟิเตอร์ชนิดนี้จะฟิตข้อมูลในช่วงที่เรากำหนดให้เข้ากับสมการโพลิโนเมียล ด้วยวิธีกำลังสองต่ำสุด และผลลัพธ์ของฟิเตอร์คือค่าของโพลิโนเมียลที่จุด  $n$  โพลิโนเมียลลำดับ  $k$  คือ

$$f_k(x) = \sum_{i=0}^k c_i x^i \quad (2-10)$$

ถ้าเราใช้ข้อมูลอดีต  $N$  ค่า และข้อมูลอนาคต  $M$  ค่า เราจะสามารถหาค่าได้จากสมการนี้

$$\sum_{i=-M}^N (x_{n-i} - f_k(n - i))^2 \quad (2-11)$$

แต่ในการใช้งานนั้นเราสามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ล่วงหน้าได้ และใช้เพียงแค่กระบวนการหาเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักในการหาผลลัพธ์ของฟิเตอร์ทำให้สามารถคำนวณได้อย่างรวดเร็ว

### บทที่ 3

#### วิธีการดำเนินงานวิจัย

##### 3.1 วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

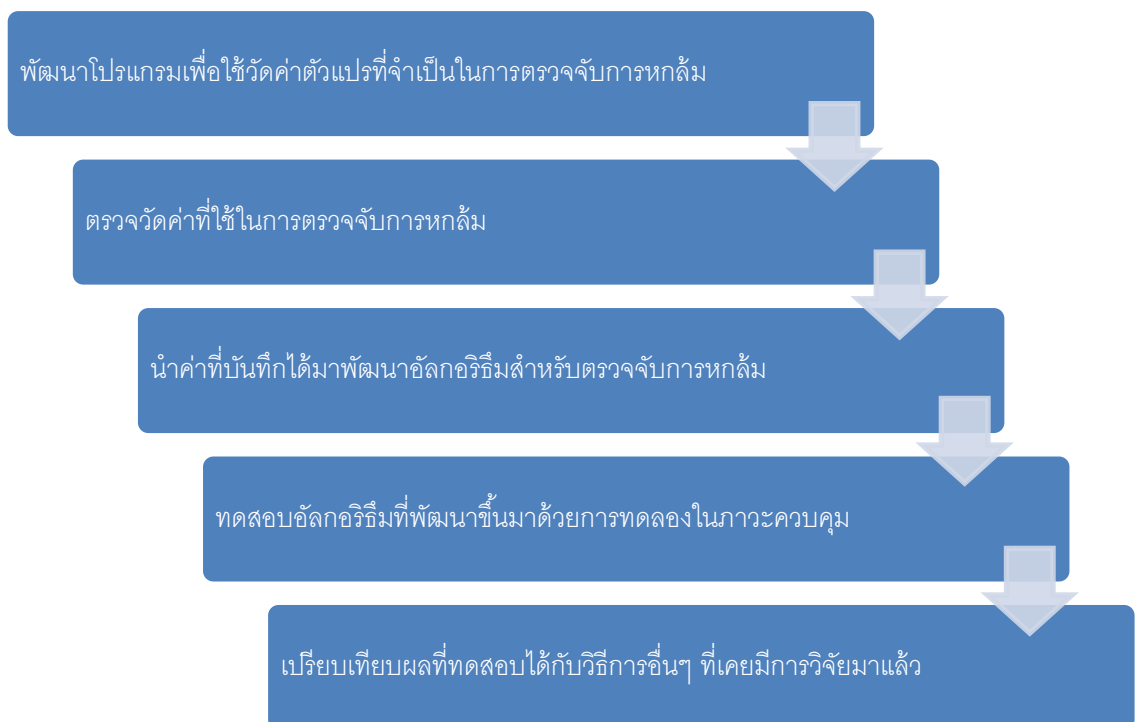
1. เครื่องไคนectสำหรับวินโดวส์ของบริษัทไมโครซอฟท์
2. เครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก Toshiba รุ่น Satellite L840, CPU Core i5, RAM 12 GB
3. ระบบปฏิบัติการ Windows 8 Professional
4. ซอร์ฟแวร์สำหรับพัฒนาแอปพลิเคชัน Microsoft Kinect SDK เวอร์ชัน 1.8
5. ไลบรารีสำหรับเขียน CSV ไฟล์
6. ซอร์ฟแวร์ Visual Studio 2012 Express

##### 3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยออกเป็น 5 ขั้นตอนตามที่ได้แสดงในแผนภูมิที่

3-1

##### แผนภูมิที่: 3-1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย





### 3.2.1 ขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้วัดค่าตัวแปรที่จำเป็นในการตรวจจับการหลั่ง

ในขั้นตอนนี้คือการเขียนโปรแกรมที่จะทำการบันทึกตำแหน่งของข้อต่อของคน โดยเขียนด้วยภาษา C# บน Visual Studio 2012 Express ด้วยสถาปัตยกรรม WPF โดยใช้ไลบรารี Kinect SDK ของบริษัทไมโครซอฟท์ในการนำเข้าข้อมูลตำแหน่งข้อต่อ จากนั้นจะทำการบันทึกข้อมูลไว้เป็นไฟล์ประเภท CSV เพื่อนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป ซอร์ฟแวร์ที่ได้นี้สามารถทำงานได้บนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 7 และ วินโดวส์ 8 ทั้งในแบบ 32 บิต และ 64 บิต โดยโปรแกรมจะรับข้อมูลตำแหน่งข้อต่อจากไคเนคต์จากนั้นจะจัดรูปแบบให้เหมาะสมแล้วบันทึกลงเป็นไฟล์ตามขั้นตอนที่แสดงในภาพที่ 3-1



ภาพที่: 3-1 ขั้นตอนการทำงาน  
ของโปรแกรมบันทึกตำแหน่ง

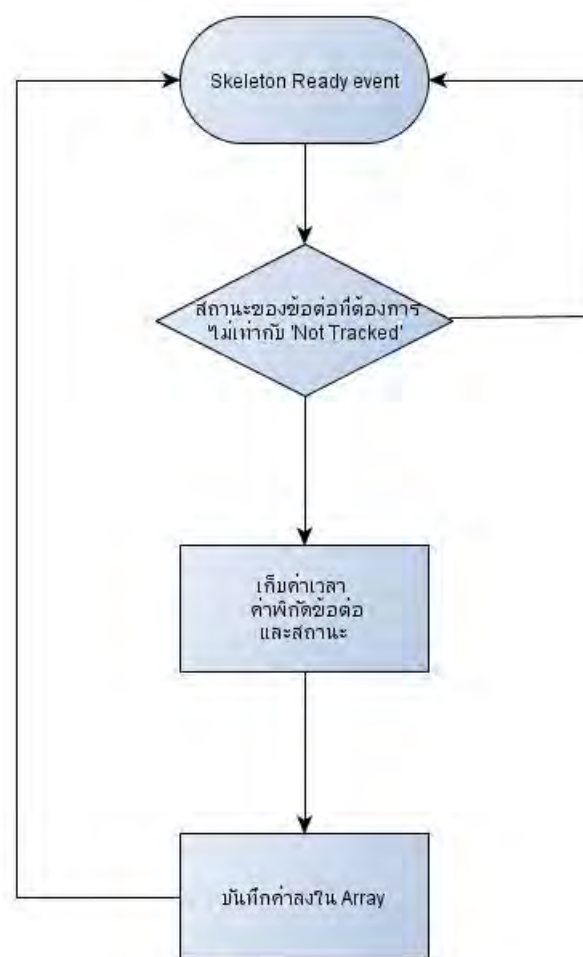
```

"2077582,-0.03470068,0.6905377,2.321942,Tracked"
"2077614,-0.00283355,0.6902525,2.338254,Tracked"
"2077648,-0.002980984,0.6487294,2.336652,Tracked"
"2077682,-0.001438506,0.6609018,2.338138,Tracked"
"2077716,0.0001362637,0.6695267,2.342332,Tracked"
"2077750,0.001645282,0.6750562,2.343854,Tracked"
"2077784,0.002909124,0.6805992,2.347332,Tracked"
"2077818,0.001652636,0.6831093,2.347087,Tracked"
"2077850,0.007923536,0.6891723,2.343497,Tracked"
"2077886,0.009210728,0.6918309,2.34068,Tracked"
"2077920,0.009237488,0.6945624,2.339988,Tracked"
"2077954,0.01002923,0.6947639,2.342144,Tracked"
"2077986,0.008692575,0.6944033,2.342067,Tracked"
"2078020,0.008577421,0.6939821,2.342741,Tracked"
"2078054,0.0105579,0.6965153,2.34067,Tracked"
"2078090,0.001782134,0.6910842,2.342929,Tracked"
"2078123,-0.003535815,0.6888817,2.35123,Tracked"
"2078156,-0.004070925,0.6885816,2.361901,Tracked"
"2078188,-0.003728524,0.6882604,2.362352,Tracked"
"2078220,-0.001384266,0.6915297,2.360285,Tracked"
"2078254,-0.0003875196,0.6916827,2.357434,Tracked"
"2078286,-0.0007265806,0.6925291,2.355345,Tracked"
"2078318,-0.002412379,0.6944474,2.35988,Tracked"
"2078350,-0.003569789,0.6962122,2.355887,Tracked"
"2078384,-0.006457672,0.6962665,2.357297,Tracked"
"2078416,-0.008604383,0.6961544,2.358211,Tracked"
"2078452,-0.009941966,0.6967386,2.362144,Tracked"
"2078485,-0.0115077,0.6966269,2.364125,Tracked"
"2078520,-0.008574829,0.6986219,2.361648,Tracked"
"2078554,-0.001296239,0.7030065,2.356824,Tracked"
"2078586,-0.00969702,0.6988902,2.366344,Tracked"
"2078622,-0.01101406,0.6978124,2.37138,Tracked"
  
```

ภาพที่: 3-2 ข้อมูล .CVS ที่ได้จาก  
โปรแกรมบันทึกวัดตำแหน่ง

รายละเอียดขั้นตอนการทำงานของของโปรแกรมเก็บข้อมูลข้อต่อเป็นไปตามภาพที่ 3-3 โดยขั้นแรกระบบจะรอรับเหตุการณ์ Skeleton Frame Ready จาก

ระบบปฏิบัติการ เมื่อได้รับแล้วจึงทำการตรวจสอบว่าข้อมูลข้อต่อส่วนที่เราต้องการนั้นมีอยู่หรือไม่ โดยตรวจสอบสถานะว่าไม่ได้อยู่ในสถานะ Not Tracked จากนั้นเก็บข้อมูลที่จำเป็นเอาไว้ค่าตัวแปรเพื่อที่จะถ่ายโอนไปยัง Array ที่เป็น Global Variable สำหรับเก็บข้อมูลต่อไป ซึ่งข้อมูลที่เก็บเอาไว้สามารถส่งต่อไปยังโมดูลสำหรับการวิเคราะห์การหกล้มโดยตัวโปรแกรมขั้นสมบูรณ์ หรือจะส่งออกมาเป็น CSV ไฟล์เพื่อนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไปก็ได้ หนึ่งโปรแกรมนี้สามารถบันทึกค่าของข้อต่อได้มากกว่า 1 ค่าในเวลาเดียวกัน โดยใช้หลักการเดียวกันทั้งหมด



ภาพที่: 3-3 รายละเอียดการทำงานของโปรแกรมบันทึกตำแหน่ง

ข้อมูลที่บันทึกไว้มีดังต่อไปนี้ตามลำดับ โดยช่องแรกคือเวลานับตั้งแต่ไคเนคต์เริ่มทำงานหน่วยเป็นไมโครเซกกันด์(ms) ทำหน้าที่เป็นดัชนีของข้อมูล ช่องที่

สอง สาม และสี่ คือตำแหน่งของข้อต่อในแกน X Y และ Z มีหน่วยเป็นเมตร ส่วนช่องสุดท้ายคือสถานะของข้อต่อนั้นๆ โดยมีสองสถานะคือ Tracked และ Inferred หากข้อมูลอยู่ในสถานะ Tracked หมายความว่าข้อมูลนั้นตรวจวัดได้โดยตรงข้อมูลนั้นมีความน่าเชื่อถือมาก แต่หากข้อมูลนั้นมีสถานะ Inferred หมายความว่าข้อมูลนั้นถูกอนุมานมาจากข้อมูลข้างเคียง ทำให้ความน่าเชื่อถือของข้อมูลต่ำลง

|   | A          | B          | C         | D        | E            |
|---|------------|------------|-----------|----------|--------------|
| 1 | Time Stamp | X          | Y         | Z        | Joint Status |
| 2 | 2128446    | -0.5861307 | 0.6130806 | 2.274091 | Tracked      |
| 3 | 2128478    | -0.5865636 | 0.6117755 | 2.271401 | Tracked      |
| 4 | 2128510    | -0.590049  | 0.6148523 | 2.262571 | Tracked      |
| 5 | 2128544    | -0.5920987 | 0.6141407 | 2.254327 | Tracked      |
| 6 | 2128576    | -0.5920471 | 0.6137189 | 2.239527 | Tracked      |
| 7 | 2128608    | -0.5920279 | 0.6168551 | 2.226945 | Tracked      |

ภาพที่: 3-4 ตัวอย่างข้อมูลตำแหน่งของข้อต่อ

### 3.2.2 ขั้นตอนการตรวจวัดค่าที่ใช้ในการตรวจจับการหลวม

ในขั้นตอนนี้ได้ให้อาสาสมัครทำท่าหลวมบนฟูก และทำท่าทางปกติในชีวิตประจำวันเช่น นั่ง ยืน เดิน แล้วบันทึกข้อมูลเอาไว้ด้วยโปรแกรมในข้อ 3.2.1 เพื่อเก็บข้อมูลเอาไว้ใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป โดยจะเก็บข้อมูลท่าทางดังที่แสดงเอาไว้ในตารางที่ 3-1 ในขั้นตอนนี้จะอาศัยอาสาสมัครจำนวน 3 คน โดยแต่ละคนจะแสดงท่าทางต่างๆท่าละสามครั้ง

ตารางที่: 3-1 ท่าทางที่ใช้เก็บข้อมูล

| ท่าการล้มหรือท่าที่คล้ายการล้ม |
|--------------------------------|
| ล้มข้างหน้า                    |
| ล้มข้างหน้าแต่กลับตัว 90 องศา  |
| ล้มข้างหลัง                    |
| ล้มข้างหลังแต่เอาก้นลง         |
| ก้มเก็บของ                     |

### ท่าทางในการใช้ชีวิตประจำวัน



ยืนแล้วลงไปนั่ง

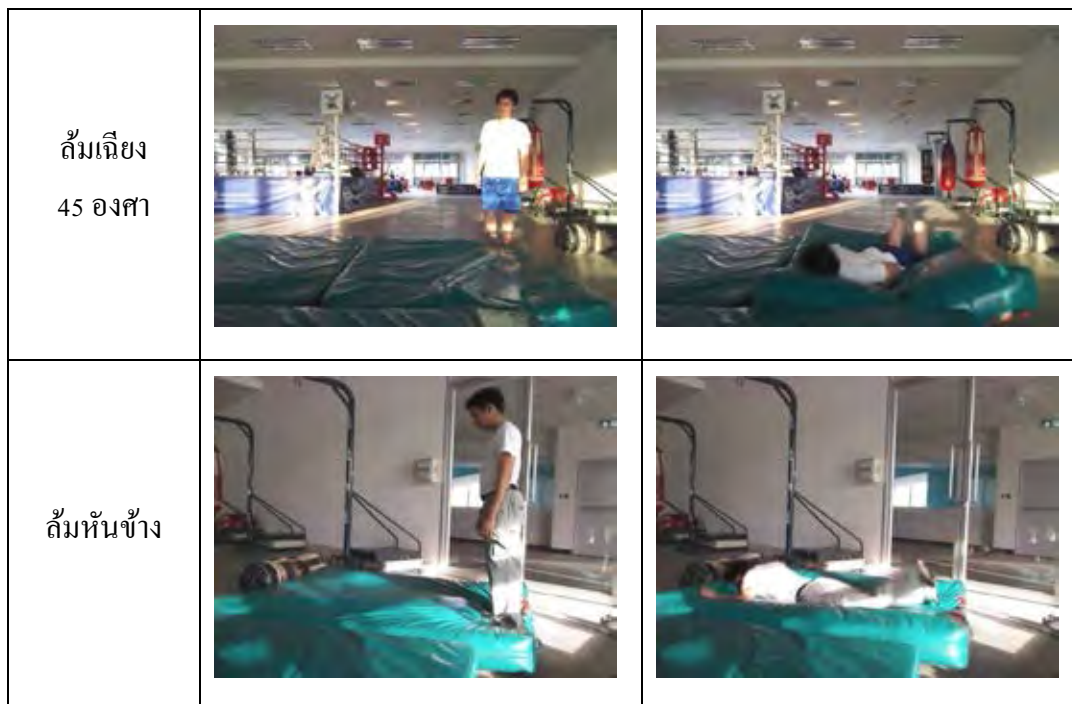
นั่งแล้วลุกขึ้นยืน

กระโดด

เดิน

โดยในท่าทางการล้มจะทำให้ผู้เข้าร่วมแสดงการล้มต่างทิศทางกันคือ หันด้านข้างเข้าหากล้อง หันหน้าเข้าหากล้องและหันเฉียง 45 องศา ดังตัวอย่างในภาพที่ 3-5 ส่วนในท่าการใช้ชีวิตประจำวันจะเก็บภาพการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่องในท่าทางต่างๆเป็นระยะเวลาประมาณ 1 นาที ระยะห่างระหว่างกล้องกับผู้เข้าร่วมการทดลองอยู่ระหว่างสองถึงสี่เมตร สภาพแสดงเป็นแบบในตัวอาคารที่ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ ข้อมูลทั้งหมดจะเก็บเอาไว้เป็น ไฟล์ชนิด .xed ซึ่งสามารถนำมาเล่นซ้ำได้

|            | ภาพเมื่อเริ่มต้น                                                                    | ภาพเมื่อล้ม                                                                          |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| ล้มหันหน้า |  |  |



ภาพที่: 3-5 ทำการล้มในทิศทางต่างๆ

### 3.2.3 ขั้นตอนการนำค่าที่บันทึกได้มาพัฒนาขั้นตอนวิธีสำหรับตรวจจับการหกล้ม

ค่าที่บันทึกได้ในข้อ 3.2.2 นั้นสามารถนำมาคำนวณหาความเร็วและความเร่งของข้อต่อได้ ซึ่งเมื่อเราศึกษาเปรียบเทียบค่าความเร็วหรือความเร่งระหว่างที่เกิดการหกล้มกับระหว่างที่ใช้ชีวิตตามปกติทั่วไป เราจะสามารถระบุได้ว่าความเร็วหรือความเร่ง ณ ค่าใด ที่สามารถบ่งบอกได้ว่าการหกล้มขึ้น นั้นหมายความว่าเมื่อใดก็ตามที่ค่าที่เราวัดได้เกินกว่าจุดนั้นๆ เราสามารถมั่นใจได้ว่าการหกล้มขึ้น โดยค่าที่ว่าจะต้องไม่สามารถเป็นไปได้ในการใช้ชีวิตประจำวัน ซึ่งรายละเอียดของขั้นตอนวิธีที่ได้นั้นอยู่ในบทที่ 4

### 3.2.4 ขั้นตอนทดสอบขั้นตอนวิธีที่พัฒนาขึ้นมาด้วยการทดลองในภาวะควบคุม

เมื่อเราได้ขั้นตอนวิธีแล้วได้ทำการทดลองเพิ่มเติมเพื่อทดสอบว่าขั้นตอนวิธีที่ได้มานั้นมีความแม่นยำเพียงใด โดยจะทดสอบความไวในการตรวจจับ และความจำเพาะเจาะจงในการตรวจจับตามสมการ (3-1) (3-2) และ (3-3)[36]

$$\text{ความไวในการตรวจจับ} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (3-1)$$

$$\text{ความจำเพาะเจาะจง} = \frac{TN}{TN+FP} \quad (3-2)$$

$$\text{ความแม่นยำ} = \frac{TP+TN}{TN+TP+FN+FP} \quad (3-3)$$

TP คือ จำนวนครั้งที่โปรแกรมเตือนว่าเกิดการหกล้มขึ้นเมื่อมีการหกล้มเกิดขึ้น

TN คือ จำนวนครั้งที่โปรแกรมไม่เตือนว่าเกิดการหกล้มขึ้นเมื่อไม่มีการหกล้มเกิดขึ้น

FP คือ จำนวนครั้งที่โปรแกรมเตือนว่าเกิดการหกล้มขึ้นเมื่อไม่มีการหกล้มเกิดขึ้น

FN คือ จำนวนครั้งที่โปรแกรมไม่เตือนว่าเกิดการหกล้มขึ้นเมื่อมีการหกล้มเกิดขึ้น

### 3.2.5 เปรียบเทียบผลที่ทดสอบได้กับวิธีการอื่นๆ ที่เคยมีการวิจัยมาแล้ว

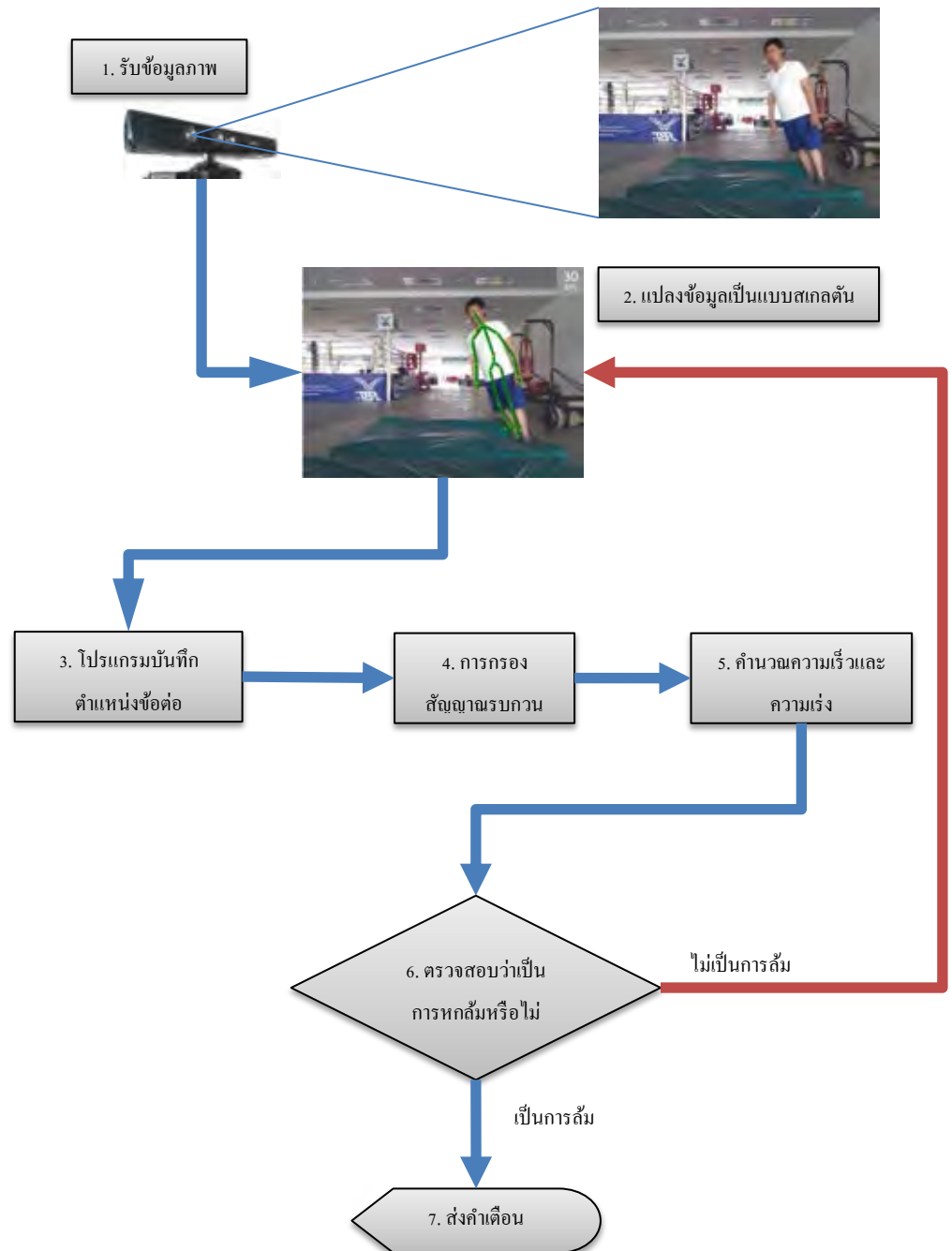
ในขั้นตอนนี้เป็นการนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ ทั้งแบบอุปกรณ์สวมใส่ และแบบกล้องถ่ายภาพ เพื่อดูว่าผลที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างไร โดยจะเปรียบเทียบค่าทั้งสามคือความจำเพาะเจาะจง ความไวในการตรวจจับ และความแม่นยำ กับวิธีการต่างๆ ที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3-1

ตารางที่: 3-2 วิธีการตรวจจับการหลั่งที่นำมาใช้เปรียบเทียบ

| ชื่อผู้วิจัย     | ชนิดของวิธีการตรวจจับ  |
|------------------|------------------------|
| Planinc & Kappel | ใช้โคเนกต์             |
| Nghiem           | ใช้โคเนกต์             |
| Lee              | กล้องถ่ายภาพเคลื่อนไหว |
| Bourke           | อุปกรณ์ติดกับร่างกาย   |
| Li               | ใช้ไมโครโฟน            |

บทที่ 4  
ผลการวิจัย

4.1 ระบบตรวจจับการหลัด



ภาพที่: 4-1 ขั้นตอนการทำงานของระบบตรวจจับการหลัด



ขั้นตอนการทำงานของระบบตรวจจับการหลัดเป็นไปตามที่แสดงไว้ในภาพที่ 4-1 โดยในขั้นตอนที่หนึ่งกล่องโคเนคต์จับภาพจากนั้นจึงแปลงข้อมูลเป็นแบบสเกลตัน ในขั้นตอนที่สองแล้วส่งต่อข้อมูลไปยังโปรแกรมบันทึกตำแหน่งข้อต่อในขั้นตอนที่สาม สามขั้นตอนนี้คือโปรแกรมบันทึกตำแหน่งข้อต่อที่ได้กล่าวถึงในหัวข้อ 3.2.1

ขั้นตอนที่สี่เป็นการกรองสัญญาณรบกวน จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหา ค่าความเร็วและความเร่งในขั้นตอนที่ห้า ในขั้นตอนที่หกเป็นการตรวจสอบเงื่อนไขว่าเข้า ข่ายการหลัดหรือไม่ และถ้าระบบตัดสินใจว่าการหลัดเกิดขึ้นก็จะแจ้งเตือนในขั้นตอน สุดท้าย

#### 4.1.1 การกรองสัญญาณรบกวน

ข้อมูลดิบของข้อต่อที่ได้รับนั้นเป็นข้อมูลที่มีสัญญาณรบกวน ดังนั้นก่อนที่จะ วิเคราะห์ข้อมูลนั้นจึงจำเป็นต้องกรองสัญญาณรบกวนออกจากข้อมูลดิบก่อน ใน การกรองนั้นได้ใช้ฟิลเตอร์ที่ได้กล่าวถึงในบทที่สองเป็นหลักในการกรองสัญญาณ โดยในบางกรณีอาจใช้ฟิลเตอร์มากกว่าหนึ่งชนิด หรืออาจใช้วิธีการอื่นนอกจาก ฟิลเตอร์ในการกรองสัญญาณ โดยการกรองสัญญาณนั้นมีขั้นตอนดังที่แสดงให้เห็น ในภาพที่ 4-2



ภาพที่: 4-2 ขั้นตอนการกรองสัญญาณรบกวน

#### 4.1.1.1 การนำเข้าข้อมูลดิบ

ทำโดยโปรแกรมบันทึกข้อมูลข้อต่อที่ได้กล่าวถึงในหัวข้อ 3.2.1 โดยแทนที่จะบันทึกข้อมูลเป็นไฟล์ ข้อมูลดิบที่บันทึกตำแหน่งของข้อต่อในแต่ละภาพจะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำที่สามารถเข้าถึงได้โดยตรงจากโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณและวิเคราะห์ในขั้นตอนถัดมา

#### 4.1.1.2 การกำจัดข้อมูลที่เป็นไปไม่ได้หรือความเป็นไปได้ต่ำ

กระบวนการนี้เป็นกระบวนการคัดกรองข้อมูลที่เป็นไปได้น้อยเช่นเมื่อข้อต่อมีความเร็วในการเคลื่อนที่มากเกินไปเกินกว่าการเคลื่อนที่ของมนุษย์ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเกิดความผิดพลาดในขั้นตอนการบันทึกข้อมูล โดยระบบจะคัดข้อมูลที่เป็นไปตามเงื่อนไขออกไปแล้วทดแทนด้วยค่าที่ได้จากการประเมินข้อมูลในอดีตโดยอาศัย Exponential Filter

##### 4.1.1.2.1 ค่าสัมประสิทธิ์ของ Exponential Filter

ในการประเมินค่าทดแทนข้อมูลที่ถูกคัดออกนั้นจะใช้สมการ 2-9 ที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.4.3.4 ในการหาค่าที่นำไปแทน โดยกำหนดให้ตัวแปร  $\alpha$  เท่ากับ 0.5 และกำหนดให้คำนวณจากผลรวมถ่วงน้ำหนักของข้อมูล 9 ชุดล่าสุดหรือ  $i = 9$  ดังนั้นหากข้อมูลที่เราต้องการทดแทนอยู่ในตำแหน่ง  $n$  ค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการคำนวณจะมีค่าดังตารางที่ 4-1 ซึ่งผลที่ได้จะเกิดจากผลบวกของผลคูณระหว่างค่าสัมประสิทธิ์กับข้อมูลในอดีต 9 ข้อมูลตั้งแต่ข้อมูลที่  $n-9$  ถึง  $n-1$  นั่นเอง

ตารางที่: 4-1 ค่าสัมประสิทธิ์ของ Exponential Filter เมื่อ  $\alpha$  เท่ากับ 0.5

| n-9      | n-8      | n-7      | n-6      | n-5     | n-4    | n-3   | n-2  | n-1 |
|----------|----------|----------|----------|---------|--------|-------|------|-----|
| 0.001953 | 0.003906 | 0.007813 | 0.015625 | 0.03125 | 0.0625 | 0.125 | 0.25 | 0.5 |

#### 4.1.1.2.2 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของศิระและลำตัว

ความเร็วของส่วนต่างๆของร่างกายเวลาหกล้มนั้น สามารถศึกษาได้จากงานของ Bourke และ Lindemann ตามตารางที่ 4-1 โดยพบว่าความเร็วสูงสุดในการล้มอยู่ที่ 4.766 m/s หรือเท่ากับ 0.0048 m/ms ระยะเวลาระหว่างเฟรมโดยเฉลี่ยของไคนะคืออยู่ที่ 33.34 ms ดังนั้นระยะที่ศิระหรือลำตัวจะเคลื่อนที่ไปได้สูงสุดในหนึ่งเฟรมคือ 0.16 เมตร ด้วยเหตุข้างต้นทำให้เมื่อเราตรวจพบว่าตำแหน่งของข้อต่อมีการเปลี่ยนแปลงเกิน 0.16 เมตรต่อเฟรม ระบบจะตัดข้อมูลนั้นออก เพราะว่ามันเป็นข้อมูลที่เป็นไปได้ยากในทางกายภาพ และมีแนวโน้มที่จะเกิดจากสัญญาณรบกวนหรือข้อผิดพลาดของอุปกรณ์มากกว่า

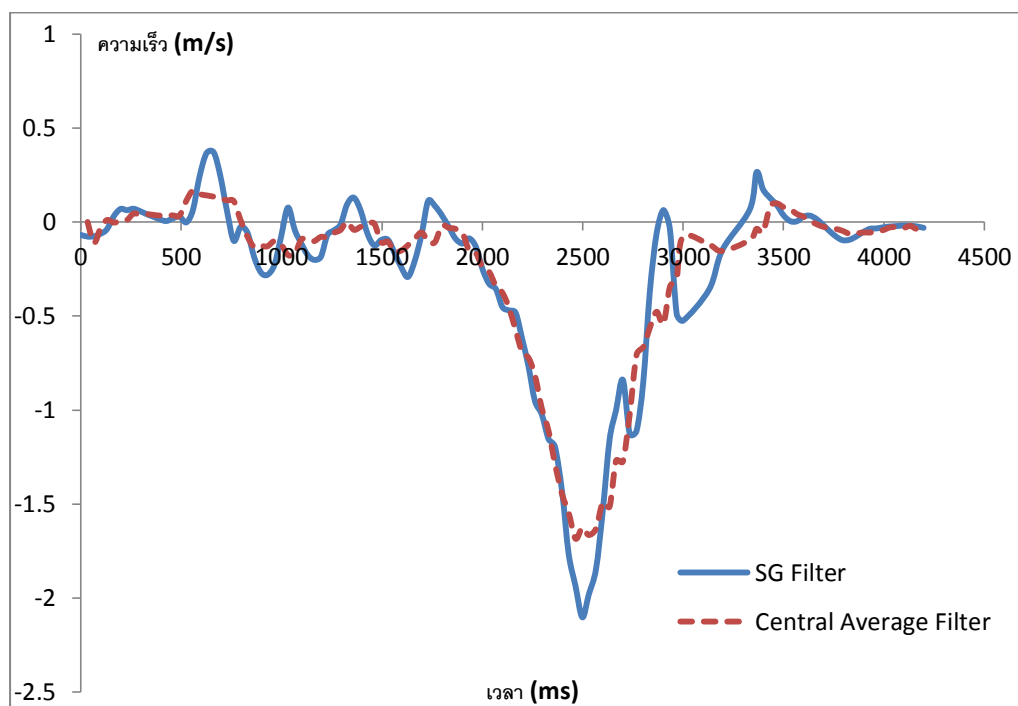
ตารางที่: 4-2 ความเร็วและความเร่งในภาวะหกล้ม

| ผู้วิจัย      | ตำแหน่งที่วัด | ความเร็วสุดท้าย<br>ต่ำสุดในการล้ม<br>(m/s) | ความเร็วสุดท้าย<br>สูงสุดในการล้ม<br>(m/s) |
|---------------|---------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Bourke[59]    | หน้าอก        | 1.750                                      | ประมาณ<br>3.90                             |
| Bourke[60]    | หน้าอก        | 2.359                                      | 4.766                                      |
| Lindemann[18] | ศิระ          | 1.640                                      | 3.72                                       |

#### 4.1.1.3 การกำจัดสัญญาณรบกวนในข้อมูล

การกำจัดสัญญาณรบกวนในขั้นตอนนี้ใช้ลิเนียร์ฟิลเตอร์ (Linear Filter) ในการกรองข้อมูลและเนื่องจากโปรแกรมที่สร้างขึ้นเป็นการตรวจจับอัตโนมัติซึ่งไม่มีความจำเป็นจะต้องโต้ตอบกับผู้ใช้ ความเร็วในการโต้ตอบจึงไม่จำเป็นต้องน้อยกว่า 100 ms ดังนั้นจึงเลือกใช้ฟิลเตอร์ที่สามารถกรองสัญญาณรบกวนออกได้มากโดยไม่ต้องสนใจความล่าช้าในการประมวลผล และเป็นฟิลเตอร์ที่รักษาจุดสูงสุด/ต่ำสุด ของสัญญาณเอาไว้อย่างครบถ้วน เพราะเราต้องการตรวจจับความเร็วและความเร่งที่สูงกว่าปกติ ดังนั้น Central Average Filter จึงไม่เป็นตัวเลือกที่เหมาะสมดังจะเห็นได้จากแผนภูมิที่ 4-1 ว่าส่วนสูงของสัญญาณนั้นต่ำกว่าที่ได้จาก Savitzky-Golay Filter ส่วน Moving Median Filter นั้นเหมาะกับการลดสัญญาณกระชากมากกว่า ดังนั้นจึงเลือกใช้ Savitsky - Golay Filter เป็นหลักในการกรองสัญญาณรบกวนในงานวิจัยชิ้นนี้

**แผนภูมิที่: 4-1** แผนภูมิเปรียบเทียบผลของฟิลเตอร์ Savitzky - Golay (เส้นทึบ) และ Central average (เส้นประ) เมื่อใช้กับข้อมูลความเร็ว



#### 4.1.1.3.1 การใช้งาน Savitzky – Golay Filter

Savitzky – Golay Filter นั้นเป็นผลมาจากผลงานวิจัยของ Abraham Savitzky และ Marcel J. E Golay ในปี พ.ศ. 2507[59] โดยทั้งสองคนนำเสนอสมการที่สามารถใช้ปรับเส้นแบบโพลีโนเมียลของข้อมูลที่มีจำนวนจำกัด และมีช่วงห่างสม่ำเสมอได้โดยการใช้ผลรวมการคูณระหว่างสัญญาณกับค่าคงที่ และเขาได้พบอีกว่าวิธีการนี้สามารถลดสัญญาณรบกวนได้ในขณะที่ยังสามารถรักษารูปร่างและขนาดของสัญญาณเอาไว้เป็นอย่างดี

ในขณะที่แนวคิดของ Savitzky-Golay ได้รับการยอมรับอย่างมากแต่ทว่าตารางที่เขาแสดงไว้ในผลงานของเขามีข้อผิดพลาดหลายจุดรวมทั้งวิธีของเขายังไม่สามารถใช้กับจุดเริ่มต้นและจุดปลายอีกด้วย ซึ่งได้มีการตีพิมพ์ตารางที่ถูกต้องในเวลาต่อมา[61], [62] นอกจากนั้นยังมีการนำเสนอวิธีคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ที่สามารถใช้ได้กับจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายอีกด้วย[63] ในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการของ Gorry[64] ในการคำนวณสัมประสิทธิ์ของ Savitzky-Golay Filter โดยค่าสัมประสิทธิ์ที่จะใช้ในงานวิจัยนี้มีตัวแปรดังต่อไปนี้คือเป็น Cubic Polynomial ที่มีขนาดของฟิลเตอร์  $2m+1$  เท่ากับ 9 ค่าที่ใช้ขึ้นไปตามตารางในภาคผนวก ก โดยการใช้ฟิลเตอร์นั้นคือการคำนวณผลรวมการคูณระหว่างของข้อมูล กับค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้คำนวณไว้ก่อนหน้าแล้วดังที่ได้แสดงไว้ในสมการ (2-10)

#### 4.1.2 การคำนวณความเร็วและความเร่ง

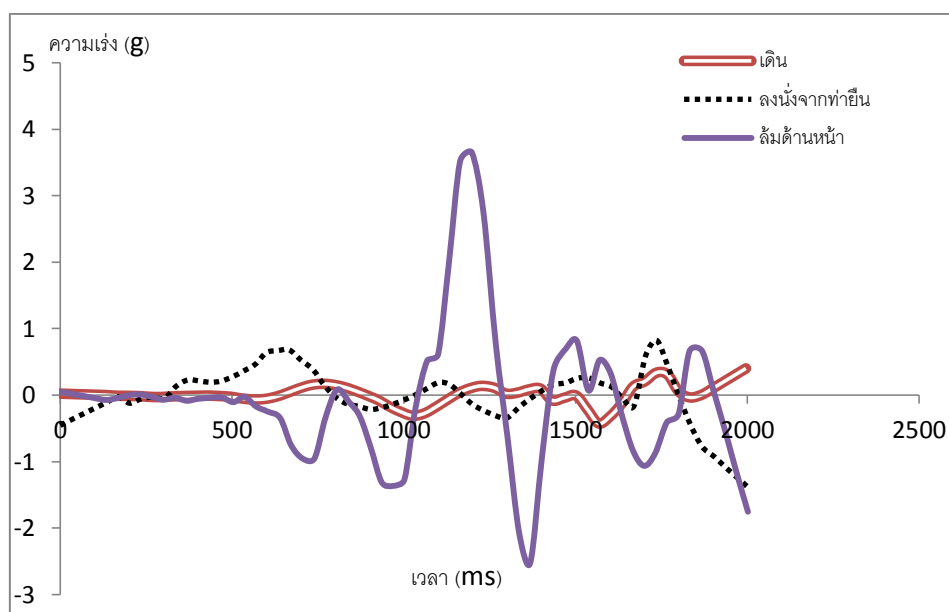
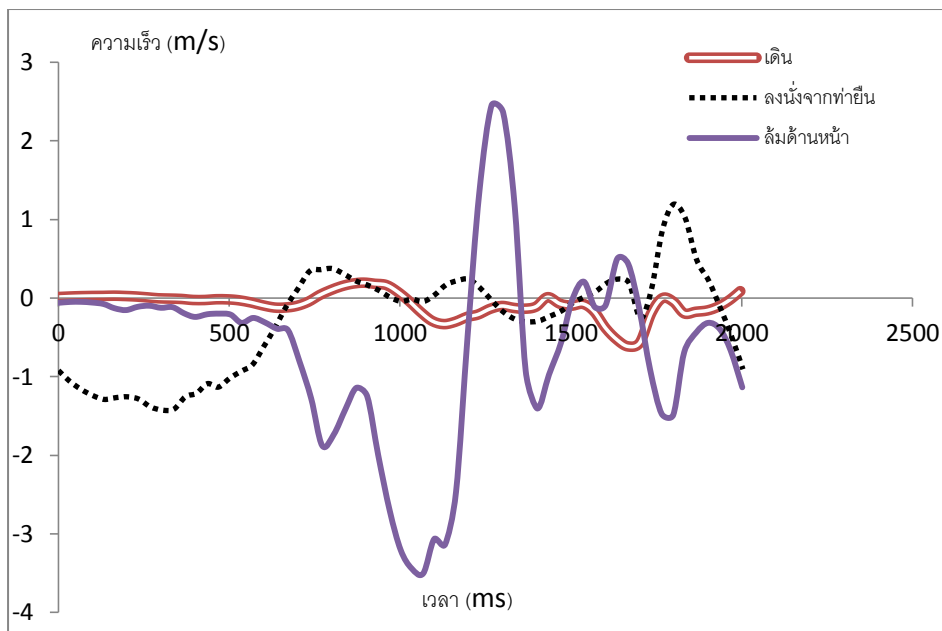
วิธีการของ Savitsky – Golay สามารถใช้หาอนุพันธ์ได้จากข้อมูลดิบโดยตรง ทำให้ไม่ต้องใช้ขั้นตอนวิธีการคำนวณอนุพันธ์ซึ่งซับซ้อนและใช้เวลานาน ทำให้หาความเร็วและความเร่งได้อย่างรวดเร็วและทุนทรัพยากรของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ต้องใช้ลง อีกทั้งการเขียนโปรแกรมทำได้ง่ายขึ้น โดยการคำนวณค่าความเร็วจะใช้ฟิลเตอร์ของอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่ง ส่วนการคำนวณค่าความเร่งจะใช้ฟิลเตอร์ของอนุพันธ์ลำดับที่สอง โดยทั้งคู่มีขนาดเท่ากับ 9 และเป็น Cubic Polynomial ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ของฟิลเตอร์ทั้งสองอันนี้เป็นไปตามตารางที่แสดงไว้ในภาคผนวก ก เช่นเดียวกัน

#### 4.1.3 การตรวจจับการหกล้ม

วิธีตรวจจับการหกล้มนี้ตั้งอยู่บนพื้นฐานที่ว่าในภาวะปกติศีรษะจะมีความเร็วและความเร่งน้อยกว่าในขณะที่เกิดการหกล้มอย่างมีนัยสำคัญ โดยจะสังเกตเห็นว่าความเร็วและความเร่งของศีรษะนั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในขณะที่เกิดการหกล้มดังเช่นตัวอย่างที่แสดงในแผนภูมิที่ 4-2 การตรวจจับการหกล้มนี้มีจุดสำคัญอยู่ที่การตรวจสอบเงื่อนไขของความเร็วและความเร่งเพื่อจำแนกความแตกต่างระหว่างภาวะปกติและภาวะที่มีการหกล้มเกิดขึ้น โดยค่าที่ใช้เป็นเงื่อนไขนั้นคำนวณจากข้อมูลที่ได้จากอาสาสมัครจำนวน 3 คน เป็นเพศชาย 2 คน เพศหญิง 1 คน ที่มีอายุระหว่าง 20 ถึง 28 ปี มีส่วนสูงตั้งแต่ 163 ถึง 170 เซนติเมตรจำนวนข้อมูลทั้งหมดที่ใช้ในขั้นนี้แบ่งเป็นข้อมูลที่แสดงการล้มจำนวน 36 ชุด และข้อมูลที่ไม่ใช่การล้มจำนวน 21 ชุด ผลของข้อมูลที่น่าสนใจจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

แผนภูมิที่: 4-2 (บน) เปรียบเทียบความเร็วในแนวแกน Y

(ล่าง) เปรียบเทียบความเร่งในแนวแกน Y



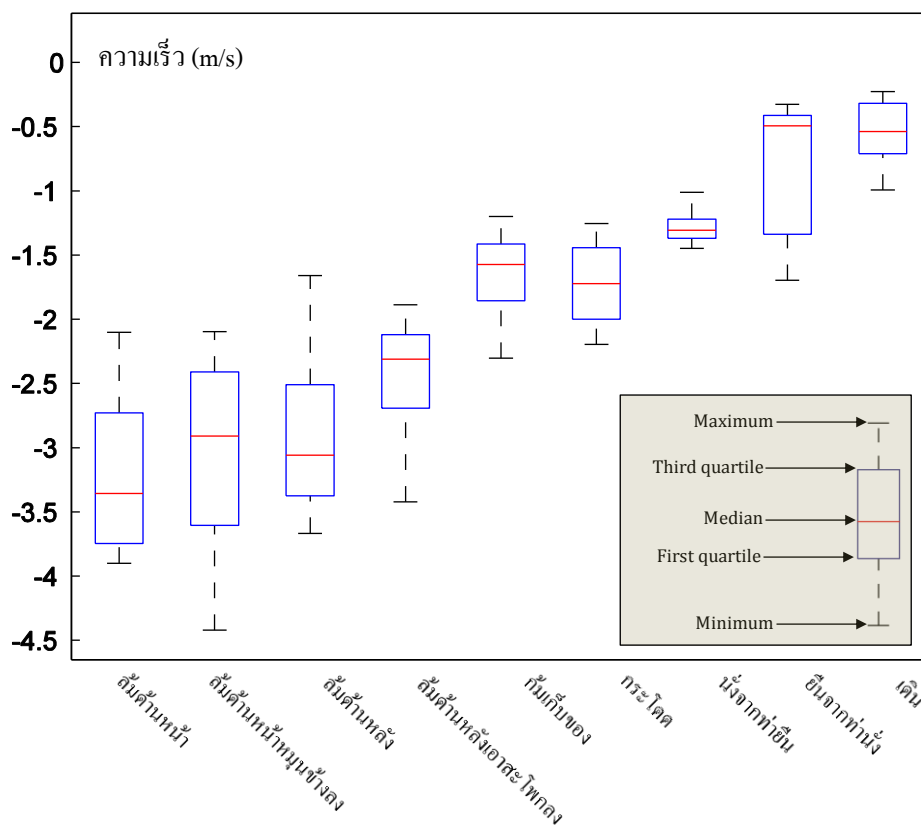
#### 4.1.3.1 ค่าความเร็วในแนวแกน Y

ค่านี้เป็นตัวแทนความเร็วของการเคลื่อนที่ในแนวตั้งฉากกับพื้นซึ่ง  
เป็นลักษณะที่เห็นได้อย่างชัดเจนในการหกล้ม โดยทั่วไปการหกล้มจะมี

ความเร็วในแนวแกน Y มากกว่าขณะปกติ ซึ่งสามารถใช้ข้อมูลดังกล่าวเป็นปัจจัยหลักในการตรวจจับการหลัด้ม โดยผลของค่าความเร็วในแกน Y เป็นไปตามแผนภูมิที่ 4-3 แสดงให้เห็นว่าโดยเฉลี่ยแล้วความเร็วในแกน Y ขณะที่ยกน้ำหนักนั้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับขณะที่ไม่ได้ยก เมื่อดูจากข้อมูลแล้ว 96.43% ของการยก มีความเร็วสูงสุดในแกน Y มากกว่า 2 m/s ถึงแม้ว่าค่าความเร็วที่วัดได้จากการก้มเก็บของและการกระโดดส่วนมากมีความเร็วน้อยกว่า 2 m/s ก็ตาม แต่ในตัวอย่างจำนวนหนึ่งพบว่ามีความเร็วเกินกว่า 2 m/s

ค่าความเร็วที่กล่าวถึงนี้คิดเฉพาะความเร็วในทิศทางพุ่งลงพื้น (มีค่าเป็นลบ) เท่านั้น โดยไม่คิดความเร็วในทิศทางบวกไม่ว่าจะมีขนาดเท่าใดก็ตาม เหตุผลก็เนื่องมาจากข้อเท็จจริงที่ว่า การยกขึ้นเป็นไปในทิศทางที่พุ่งลงพื้นเพียงอย่างเดียวเท่านั้น

แผนภูมิที่: 4-3 ค่าความเร็วในแนวแกน Y ของการยกแบบต่างๆและท่าทางปกติ



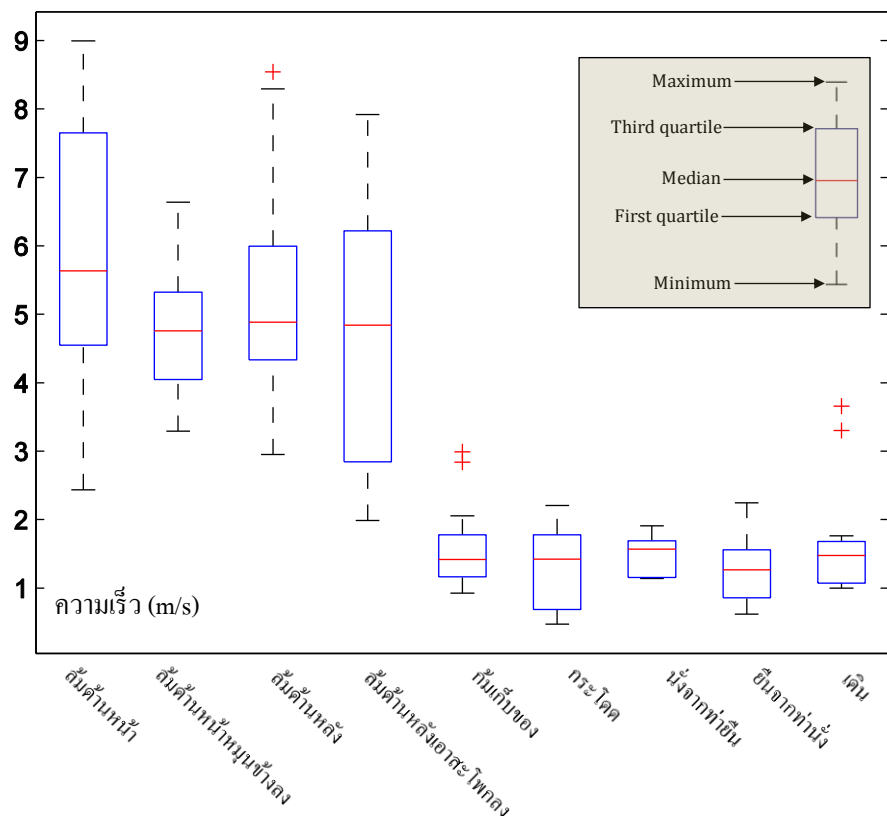


#### 4.1.3.2 ผลรวมค่าความเร็วในแนวแกน X-Z

ค่านี้เป็นความเร็วในการเคลื่อนที่ในระนาบที่ขนานกับพื้น โดยคิดจากขนาดของผลบวกเวกเตอร์ความเร็วของแกน X Z โดยในขณะที่เกิดการหกล้ม ค่าความเร็วชุดนี้มีค่ามากกว่าขณะที่ไม่ได้ล้ม ตามที่ได้แสดงให้เห็นในแผนภูมิที่ 4-4 โดย 98.21% ของข้อมูลชุดนี้มีค่ามากกว่า 2 m/s ขณะที่เกิดการหกล้ม โดยข้อมูลส่วนใหญ่ของการเดิน กระโดดและเก็บของนั้นน้อยกว่า 2 m/s

ค่านี้เป็นตัวแทนของการเปลี่ยนตำแหน่งของศีรษะอย่างรวดเร็วที่ไม่เกิดขึ้นในการใช้ชีวิตปกติโดยอ้างอิงจากการทดลองของ Lindeman ที่ใช้ค่านี้เป็นตัวแปรหนึ่งในการตรวจจับการหกล้มอย่างได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

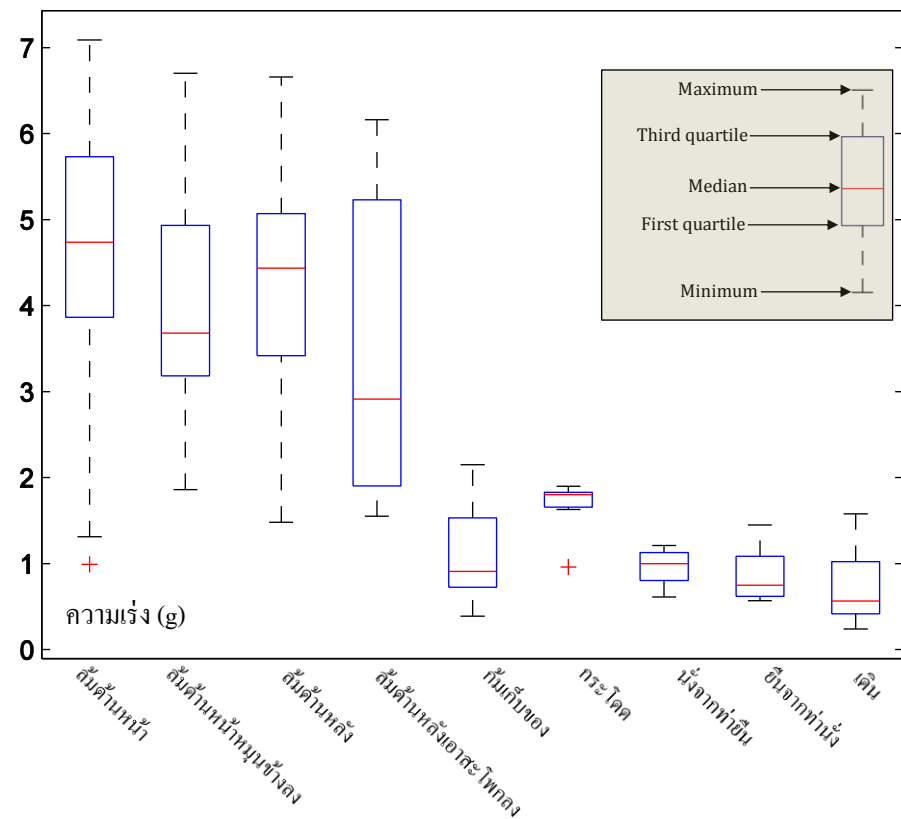
**แผนภูมิที่: 4-4** ผลรวมค่าความเร็ว X Z ของการหกล้มแบบต่างๆและท่าทางปกติ



#### 4.1.3.3 ค่าความเร่งรวมสามแกน

ค่าความเร่งรวมในแนวแกน X Y และ Z นี้สามารถใช้เป็นตัวแทนการเคลื่อนที่อย่างกะทันหันที่เกิดขึ้นได้ในการทดสอบแบบรุนแรงซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงความเร่งอย่างมากในทุกๆแกน โดยเราพบว่าในท่าทางปกตินั้นค่านี้มีค่าไม่เกิน 2.5 g และในการทดสอบส่วนใหญ่แล้วค่านี้มีค่ามากกว่า 3 g

**แผนภูมิที่: 4-5** ผลรวมค่าความเร่งในแกน X Y และ Z ของการทดสอบแบบต่างๆ และในท่าทางปกติ



#### 4.1.4 ค่าที่ใช้ตรวจจับการทดสอบ

จากข้อมูลข้างต้นทำให้ได้ค่าที่สามารถใช้เป็นเงื่อนไขในการตรวจสอบการทดสอบ 3 ค่าดังต่อไปนี้ ค่าแรกคือขนาดความเร็วในทิศทางพุ่งลงพื้น ( $v_y$ ) ค่าที่สองคือผลรวมเวกเตอร์ความเร็วในแนวระนาบที่ขนานกับพื้น ( $v_{xz}$ ) และค่าสุดท้ายคือผลรวมเวกเตอร์

ความเร่งทั้งสามแกน( $a_{xyz}$ ) ในหัวข้อต่อไปเป็นการตรวจสอบประสิทธิภาพของตัวแปรทั้งสามตัวว่าค่าใดที่เหมาะสมกับการตรวจจับการหลัด้มมากที่สุด ซึ่งมีทั้งแบบใช้ค่าเดียวและแบบที่มีการใช้มากกว่าหนึ่งค่ารวมกัน โดยมีเป้าหมายคือทำให้ความแม่นยำ ความไว และความจำเพาะเจาะจงเข้าใกล้ 100% ให้มากที่สุด

#### 4.1.4.1 ประสิทธิภาพการตรวจจับเมื่อใช้ความเร็วในแนวแกน Y เป็นเงื่อนไข

เมื่อกำหนดเงื่อนไขให้โปรแกรมแจ้งเตือนเมื่อตรวจพบความเร็วในแนวแกน Y เกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ในหลักแรกของตารางที่ 4-3 ข้อมูลจากตารางแสดงให้เห็นว่าความแม่นยำจะมีค่ามากที่สุดเมื่อกำหนดเงื่อนไขการตรวจสอบไว้ที่  $v_y$  น้อยกว่า -2.0 เมตรต่อวินาที โดยที่ถ้าตั้งค่าให้มากกว่าหรือน้อยกว่านั้นความแม่นยำจะลดลงอย่างมาก อย่างไรก็ตามการใช้  $v_y$  เพียงค่าเดียวเป็นเงื่อนไขนั้นมีความจำเพาะเจาะจงเพียง 88.1% เท่านั้นแสดงว่าระบบจะมีการแจ้งเตือนเมื่อไม่มีการหลัด้มเกิดขึ้นถึง 11.9%

ตารางที่: 4-3 ประสิทธิภาพของการใช้  $v_y$  ในการตรวจจับการหลัด้ม

| $v_y$<br>(m/s) | TP | FN | TN | FP | ความไว | ความจำเพาะ<br>เจาะจง | ความแม่นยำ |
|----------------|----|----|----|----|--------|----------------------|------------|
| น้อยกว่า -1.5  | 55 | 0  | 28 | 14 | 100%   | 66.7%                | 85.6%      |
| น้อยกว่า -2    | 53 | 2  | 37 | 5  | 96.4%  | 88.1%                | 92.8%      |
| น้อยกว่า -2.5  | 37 | 18 | 41 | 1  | 67.3%  | 97.6%                | 80.4%      |
| น้อยกว่า -3    | 23 | 32 | 41 | 1  | 41.8%  | 97.6%                | 66.0%      |
| น้อยกว่า -3.5  | 15 | 40 | 42 | 0  | 27.3%  | 100%                 | 58.8%      |

#### 4.1.4.2 ประสิทธิภาพการตรวจจับเมื่อใช้ผลบวกเวกเตอร์ความเร็วในแนวแกน X Z เป็นเงื่อนไข

เมื่อกำหนดเงื่อนไขให้โปรแกรมแจ้งเตือนเมื่อตรวจพบผลบวกเวกเตอร์ของความเร็วที่คำนวณได้จากสมการที่ 4-1 เกินกว่าค่าที่เรากำหนดไว้ในหลักแรกของตารางที่ 4-4 จะพบว่าค่าที่ให้ความแม่นยำสูงสุดคือ  $v_{xz}$  มากกว่า 2.5 เมตรต่อวินาที การใช้  $v_{xy}$  นี้ให้ผลดีว่าการใช้ค่า  $v_y$  สังเกตได้จากความจำเพาะเจาะจงเพิ่มขึ้นเป็น 90.5%

$$v_{xz} = \sqrt{v_x^2 + v_z^2} \quad (4-1)$$

ตารางที่: 4-4 ประสิทธิภาพของการใช้  $v_{xz}$  ในการตรวจจับการหลัด

| $v_{xz}$<br>(m/s) | TP | FN | TN | FP | ความไว | ความจำเพาะ<br>เจาะจง | ความแม่นยำ |
|-------------------|----|----|----|----|--------|----------------------|------------|
| มากกว่า 1.5       | 52 | 3  | 30 | 12 | 94.5%  | 71.4%                | 84.5%      |
| มากกว่า 2         | 54 | 1  | 34 | 8  | 98.2%  | 81.0%                | 90.7%      |
| มากกว่า 2.5       | 53 | 2  | 38 | 4  | 96.4%  | 90.5%                | 93.8%      |
| มากกว่า 3         | 49 | 6  | 40 | 2  | 89.1%  | 95.2%                | 91.8%      |
| มากกว่า 4         | 40 | 15 | 42 | 0  | 72.7%  | 100%                 | 84.5%      |

#### 4.1.4.3 ประสิทธิภาพการตรวจจับเมื่อใช้ผลบวกเวกเตอร์ความเร็วในแนวแกน X Y และ Z เป็นเงื่อนไข

เมื่อกำหนดเงื่อนไขให้โปรแกรมแจ้งเตือนเมื่อตรวจพบผลบวกเวกเตอร์ความเร็วในแนวแกน X Y และ Z ตามสมการที่ 4-2 มีค่ามากกว่าค่าที่กำหนดไว้ใน

หลักแรกของตารางที่ 4-5 จะเห็นว่าค่าความจำเพาะเจาะจงที่ 100% เมื่อเราตั้งให้  $a_{xyz}$  มีค่ามากกว่า 2.5 ขึ้นไป นั้นแสดงให้เห็นว่าไม่มีท่าทางปกติใดๆที่มี  $a_{xyz}$  มากไปกว่า 2.5 g อย่างไรก็ตามก็ถึงแม้ว่าการใช้  $a_{xyz}$  เป็นเงื่อนไขทำให้ได้ความจำเพาะเจาะจง 100% แต่ทว่าความไวในการตรวจจับกลับน้อยกว่าการใช้ความเร็วอย่างเห็นได้ชัดโดยเหลือเพียงแค่ 81.8% เมื่อเทียบกับ 96.4% ของสองตัวแปรข้างต้น

$$a_{xyz} = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad (4-2)$$

ตารางที่: 4-5 ประสิทธิภาพของการใช้  $a_{xyz}$  ในการตรวจจับการหลัด

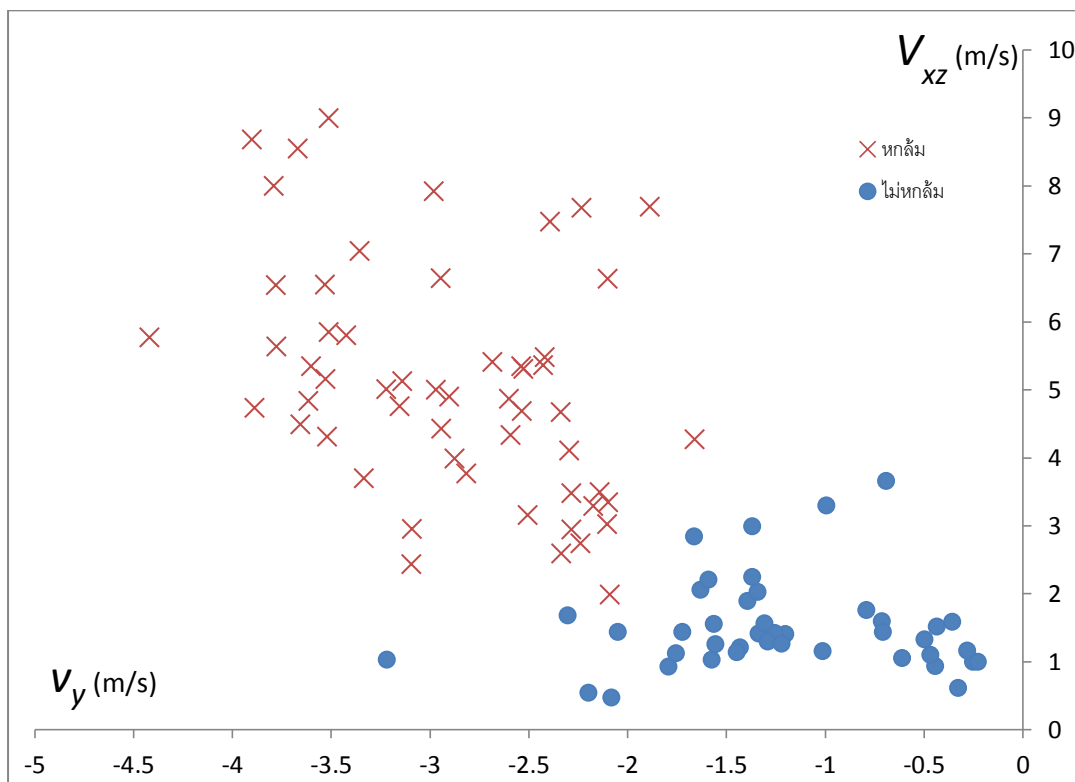
| $a_{xyz}$ (g) | TP | FN | TN | FP | ความไว | ความจำเพาะ<br>เจาะจง | ความแม่นยำ |
|---------------|----|----|----|----|--------|----------------------|------------|
| มากกว่า 2     | 46 | 9  | 41 | 1  | 83.6%  | 97.6%                | 89.7%      |
| มากกว่า 2.5   | 45 | 10 | 42 | 0  | 81.8%  | 100%                 | 89.7%      |
| มากกว่า 3     | 41 | 14 | 42 | 0  | 74.5%  | 100%                 | 85.6%      |
| มากกว่า 3.5   | 34 | 21 | 42 | 0  | 61.8%  | 100%                 | 78.4%      |
| มากกว่า 4     | 30 | 25 | 42 | 0  | 54.5%  | 100%                 | 74.2%      |

#### 4.1.4.4 ประสิทธิภาพการตรวจจับเมื่อใช้ตัวแปร $v_y$ และ $v_{xz}$ ร่วมกัน

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการใช้ตัวแปรมากกว่าหนึ่งค่าในการตรวจจับการหลัดจึงเป็นเรื่องที่ถูกลำมาพิจารณา ถ้าวาดแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $v_y$  กับ  $v_{xz}$  ตามที่แสดงให้เห็นในภาพที่ 4-3 จะพบว่ามีการเกาะกลุ่มกันอย่างเห็นได้ชัดของข้อมูลในระหว่างที่เกิดการหลัดและช่วงที่ไม่เกิดการหลัด ทำให้สามารถกำหนดเงื่อนไขที่ทำให้สามารถตรวจสอบการหลัดได้แม่นยำขึ้น โดยจากการทดลองพบว่าความแม่นยำจะสูงที่สุดเมื่อกำหนดเงื่อนไขให้  $v_y < -2.0$  ร่วมกับ  $v_{xz} > 2.0$

ตารางที่: 4-6 ประสิทธิภาพของการใช้  $v_y$  และ  $v_{xz}$  ในการตรวจจับการหกล้ม

| $v_y$ และ $v_{xz}$            | TP | FN | TN | FP | ความไว | ความจำเพาะเจาะจง | ความแม่นยำ |
|-------------------------------|----|----|----|----|--------|------------------|------------|
| $v_y < -2$ และ $v_{xz} > 2$   | 52 | 3  | 42 | 0  | 94.5%  | 100%             | 96.9%      |
| $v_y < -2$ และ $v_{xz} > 2.5$ | 51 | 4  | 42 | 0  | 92.7%  | 100%             | 95.9%      |



แผนภูมิที่: 4-6 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $v_y$  กับ  $v_{xz}$  ระหว่างหกล้ม และไม่หกล้ม

#### 4.1.4.5 ประสิทธิภาพการตรวจจับเมื่อใช้ตัวแปร $v_y$ , $v_{xz}$ และ $a_{xyz}$ ร่วมกัน

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการตรวจจับให้มากขึ้น การใช้ตัวแปรทั้งสามตัวร่วมกันนั้นให้ผลเป็นที่น่าพอใจโดยผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นไปตามตารางที่ 4-7 จะเห็นว่าการเพิ่มตัวแปรขึ้นมาเป็นสามตัวนั้นช่วยเพิ่มความไวของการตรวจจับขึ้นอย่างมาก

จาก 94.5% เมื่อใช้ตัวแปรสองตัวเป็น 98.2% เมื่อใช้ตัวแปรสามตัว โดยที่ยังคง  
ความจำเพาะเจาะจงไว้ที่ 100% เท่าเดิม

ตารางที่: 4-7 ประสิทธิภาพของการใช้  $v_y$ ,  $v_{xz}$  และ  $a_{xyz}$  ในการตรวจจับการหล่ม

| $v_y$ , $v_{xz}$<br>และ $a_{xyz}$             | TP | FN | TN | FP | ความไว | ความจำเพาะ<br>เจาะจง | ความแม่นยำ |
|-----------------------------------------------|----|----|----|----|--------|----------------------|------------|
| $v_y < -2$<br>$v_{xz} > 2$<br>$a_{xyz} > 2.5$ | 54 | 1  | 42 | 0  | 98.2%  | 100%                 | 99.0%      |

#### 4.1.5 ตัวแปรที่มีประสิทธิภาพที่สุดในการตรวจจับการหล่ม

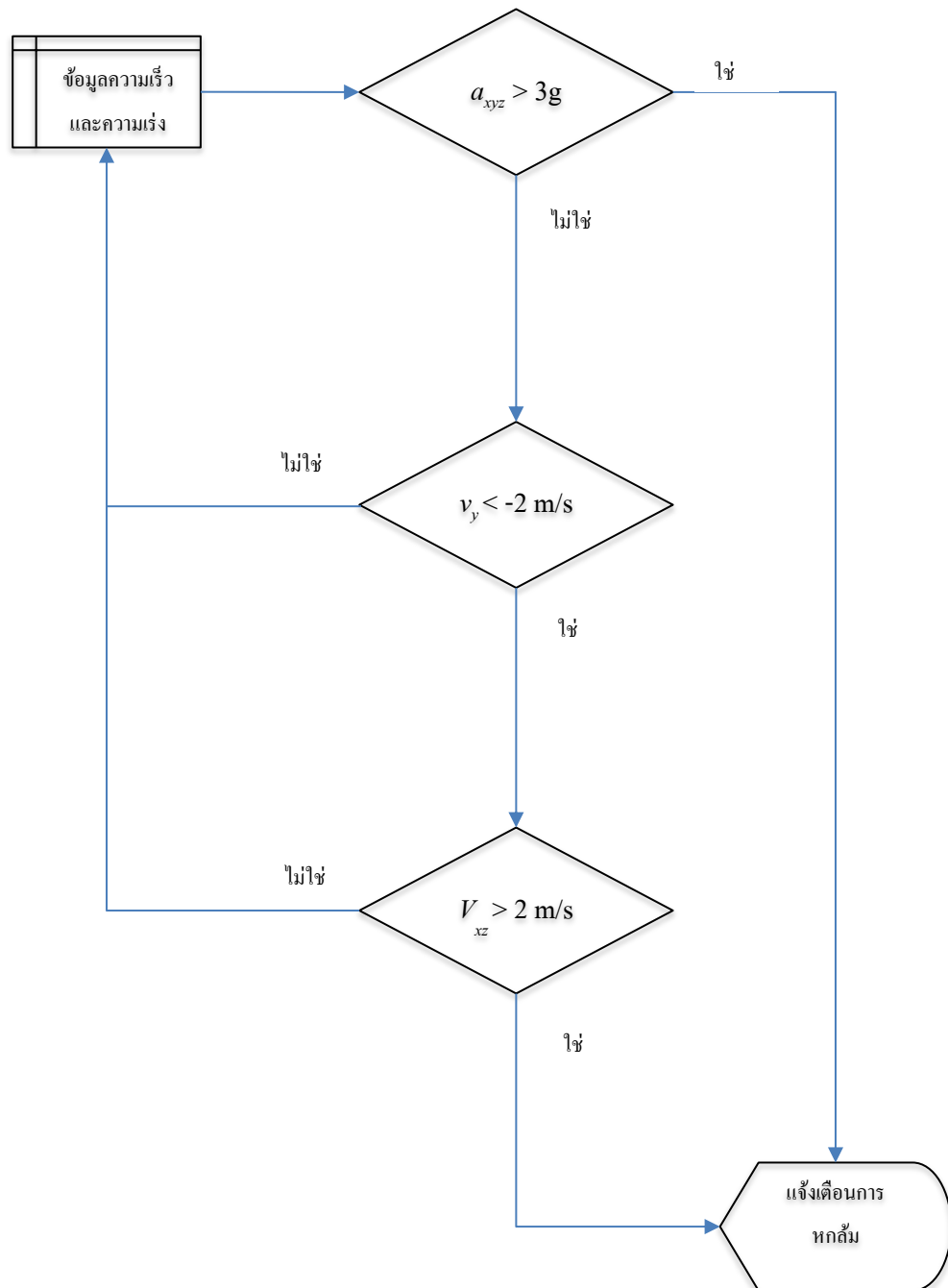
จากข้อมูลทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้นวิธีการที่จะตรวจจับการหล่มได้อย่างมี  
ประสิทธิภาพที่สุดจะใช้ตัวแปรสามตัวคือ  $v_y$ ,  $v_{xz}$  และ  $a_{xyz}$  ร่วมกัน โดยผลสรุป  
เปรียบเทียบความแม่นยำของการตรวจจับด้วยตัวแปรแต่ละชนิดจะแสดงให้เห็นใน  
ตารางที่ 4-8

ตารางที่: 4-8 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแปรที่ใช้ในการตรวจจับการหล่ม

|                  | $v_y < -2.0$ | $v_{xz} > 2.5$ | $a_{xyz} > 2.5$ | $v_y < -2.0$<br>$v_{xz} > 2.0$ | $v_y < -2.0$ ,<br>$v_{xz} > 2.0$ ,<br>$a_{xyz} > 2.5$ |
|------------------|--------------|----------------|-----------------|--------------------------------|-------------------------------------------------------|
| ความไว           | 96.4%        | 96.4%          | 81.8%           | 94.5%                          | 98.2%                                                 |
| ความจำเพาะเจาะจง | 88.1%        | 90.5%          | 100%            | 100%                           | 100%                                                  |
| ความแม่นยำ       | 92.8%        | 93.8%          | 89.7%           | 96.9%                          | 99.0%                                                 |

## 4.2 ขั้นตอนวิธีตรวจจับการหกสั้ม

### 4.2.1 ภาพรวมของขั้นตอนวิธี



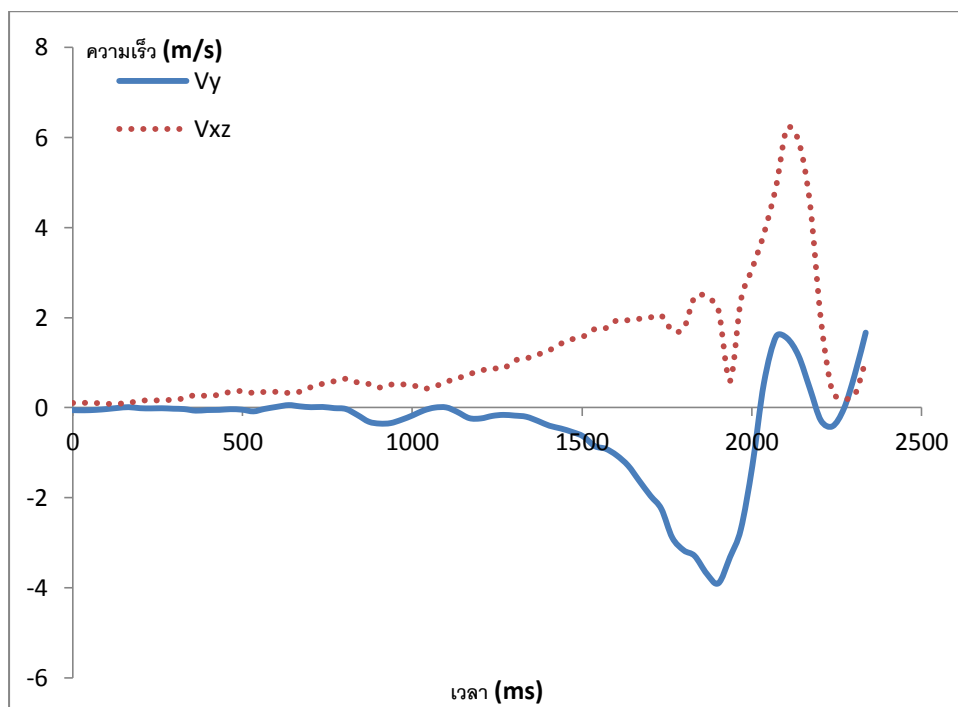
ภาพที่: 4-3 ภาพแสดงขั้นตอนการทำงานของขั้นตอนวิธีตรวจจับการหกสั้ม



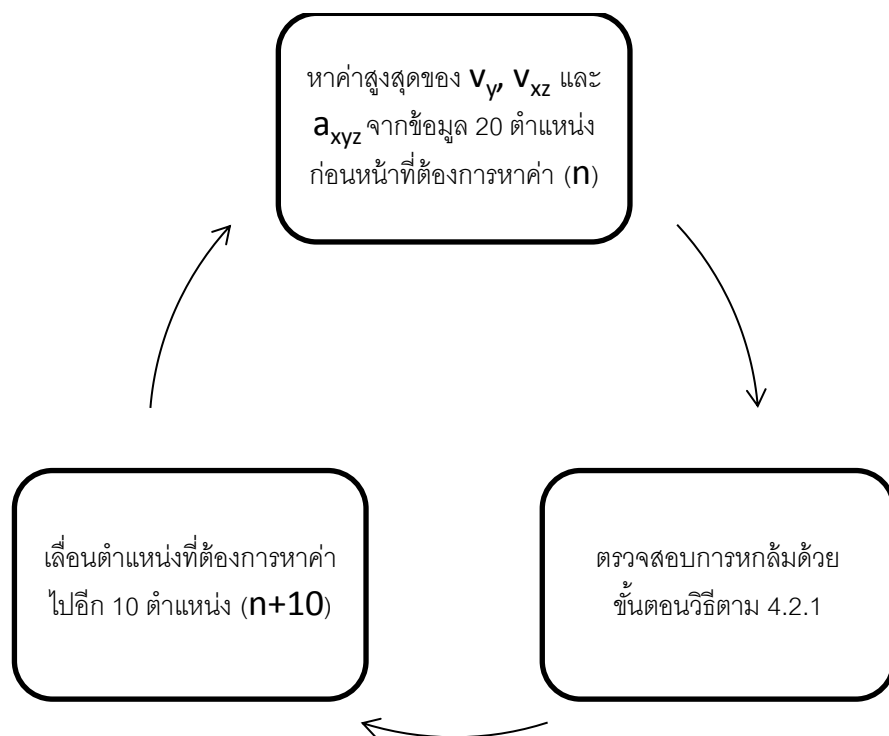
#### 4.2.2 ความเหลื่อมของจุดสูงสุดของสัญญาณ

ในทางทฤษฎีแล้วค่าจุดสูงสุดของความเร็วและความเร่ง ควรจะเป็นจุดเดียวกัน แต่จากการวัดค่าจริงๆนั้นส่วนใหญ่จุดสูงสุดของสัญญาณที่ใช้ในการตรวจจับการหกล้มนั้นจะเกิดขึ้นไม่พร้อมกันดังเช่นตัวอย่างในภาพที่ 4-5 ทำให้ไม่สามารถใช้ค่าความเร็วและความเร่งจากจุดๆเดียวในการตรวจจับการหกล้มได้

เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว โปรแกรมที่สร้างขึ้นจึงจำเป็นต้องพิจารณาค่าความเร็วและความเร่งสูงสุดจากช่วงของข้อมูลแทนที่จะวัดจากจุดเพียงจุดเดียว โดยผลจากการทดลองพบว่าจุดสูงสุดของสัญญาณนั้นห่างกันไม่เกิน 10 เฟรม ดังนั้นในการเขียนโปรแกรมจะกำหนดให้ทดสอบเงื่อนไขเป็นช่วงๆ ช่วงละ 20 เฟรม และทำการทดสอบทุกๆ 10 เฟรม ทำให้มีช่วงที่เหลื่อมกันอยู่ 10 เฟรม โดยมีเป้าหมายเพื่อให้ไม่มีข้อมูลที่ถูกละเลย โดยขั้นตอนการทำงานจะเป็นไปตามภาพที่ 4-4



แผนภูมิที่: 4-7 แผนภูมิแสดงความเหลื่อมของจุดสูงสุดของความเร็วเมื่อเกิดการหกล้ม



ภาพที่: 4-4 วิธีการหาค่าสูงสุดจากช่วงของข้อมูล

## บทที่ 5

### สรุปและวิจารณ์ผล

#### 5.1 วิจารณ์ผลการทดลอง

ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบตรวจจับการหลอมนั้นได้ใช้ตัวอย่างดังต่อไปนี้คือ Planinc & Kampel[42] ซึ่งเป็นระบบตรวจจับการหลอมน์โดยใช้โคเนกต์โดยอาศัยข้อมูลท่าทางของร่างกายในการตรวจจับการหลอมน์ ระบบต่อมาคือ ระบบของ Nghiem [44] ที่ใช้โคเนกต์ เช่นเดียวกัน ระบบที่สามเป็นของ Bourke[65] ที่ใช้มาตรวัดความเร่งชนิดสามแกนในการตรวจจับการหลอมน์ ระบบที่สี่เป็นของ Lee[66] ที่ใช้กล้องถ่ายภาพเคลื่อนไหว ระบบสุดท้ายคือระบบของ Li[21] ที่ใช้ไมโครโฟนในการตรวจจับ

ประสิทธิภาพของระบบตรวจจับการหลอมน์ที่ไม่ใช้โคเนกต์นั้น จากรายงานของ Bourke[65] พบว่าระบบที่ใช้มาตรวัดความเร่งของเขานั้นมีความไว ความจำเพาะเจาะจง และความแม่นยำอยู่ที่ 100% ส่วนระบบที่ใช้อุปกรณ์ถ่ายภาพของ Lee[66] จากรายงานพบว่ามีความไวที่ 94.3% ความจำเพาะเจาะจงที่ 98.4% และความแม่นยำที่ 97.1% ส่วนระบบที่ใช้ไมโครโฟนของ Li[21] นั้นงานวิจัยระบุว่ามีความไวที่ 97.0% ความจำเพาะเจาะจงที่ 97.0% และความแม่นยำที่ 97.0%

ในส่วนของระบบที่ใช้โคเนกต์ผลจากการวิจัยของ Planinc & Kampel[42] ระบุว่ามีความไวที่ 92.5% ความจำเพาะเจาะจงที่ 100% และความแม่นยำที่ 95.8% และงานวิจัยของ Nghiem[44] รายงานผลว่าระบบที่คิดขึ้นนั้นมีความไวที่ 96.7% ความจำเพาะเจาะจงที่ 100% และความแม่นยำที่ 98.4% ในขณะที่วิธีการที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีความไวที่ 98.2% ความจำเพาะเจาะจงที่ 100% และความแม่นยำที่ 99.0%

จากข้อมูลที่กล่าวมาแสดงให้เห็นว่าระบบที่นำเสนอขึ้นนี้มีประสิทธิภาพโดยรวมดีกว่าระบบอื่นที่นำมาเปรียบเทียบเล็กน้อยยกเว้นของ Bourke แต่อย่างไรก็ตามผลที่ได้มานี้ได้ยังไม่ได้นำไปทดสอบด้วยฐานข้อมูลอื่น เนื่องจากความแตกต่างของรูปแบบของไฟล์ที่ใช้บันทึกข้อมูล และยังไม่ได้รับการทดสอบการใช้งานจริงอย่างต่อเนื่อง ผลที่ได้จึงยังไม่สามารถบ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการใช้งานจริงได้

## 5.2 สรุปผล

งานวิจัยชิ้นนี้แสดงให้เห็นว่ากล้องไคเนกต์สามารถนำมาใช้ในการตรวจจับการหกดื่มแบบเวลาจริงได้ ซึ่งหากได้รับการพัฒนาเพิ่มเติมก็สามารถนำไปใช้ในการดูแลผู้สูงอายุได้ โดยไม่รุกรานความเป็นส่วนตัว เนื่องจากข้อมูลที่ใช้เป็นข้อมูลความลึกเท่านั้น จะไม่มีข้อมูลภาพใบหน้าของบุคคล อีกทั้งระบบยังเป็นแบบอัตโนมัติที่สามารถทำงานได้ตลอด 24 ชั่วโมงแม้กระทั่งในความมืด ซึ่งช่วยลดโอกาสบาดเจ็บและเสียชีวิตจากการหกดื่มในสถานเฝ้าระวังและในยามวิกาล

อย่างไรก็ตามไคเนกต์มีจุดที่ต้องพึงระวังในการนำไปใช้งานจริงอยู่เช่น แม้จะสามารถใช้งานในที่มืดได้จริง แต่ในบริเวณที่มีดิสทริบิวชันโดยไม่มีแสงเลย ความแม่นยำจะลดลง หรือระยะเวลาการทำงานที่ครอบคลุมพื้นที่ได้น้อยกว่าระบบอื่น ซึ่งแก้ไขได้ด้วยการติดตั้งกล้องหลายตัวเป็นต้น ผู้สนใจที่จะพัฒนาระบบนี้ต่อไปควรรักษาข้อจำกัดของไคเนกต์ให้ละเอียดถี่ถ้วน เพื่อลดปัญหาที่อาจเกิดขึ้น

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

### 5.3.1 ข้อมูลสเกลตัน

ในงานวิจัยนี้ใช้ระบบของไมโครซอฟท์ในการเปลี่ยนข้อมูลความลึกเป็นข้อมูลสเกลตัน จากการทดลองพบว่าโดยทั่วไประบบของไมโครซอฟท์ทำงานได้อย่างเป็นที่น่าพอใจเมื่อผู้แสดงอยู่ในท่ายืน เดิน หรือนั่ง แต่ทว่าระบบจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นได้มากเมื่อผู้แสดงอยู่ในท่านอน ซึ่งหากต้องการพัฒนาระบบให้สามารถวิเคราะห์ท่าทางได้ด้วยนอกจากความเร็วและความแรง ระบบของไมโครซอฟท์อาจจะไม่เหมาะสมกับความต้องการ จึงต้องค้นหาวิธีการเปลี่ยนข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบสเกลตันที่มีประสิทธิภาพมากกว่าระบบของไมโครซอฟท์

### 5.3.2 การกรองสัญญาณรบกวน

วิธีการกรองสัญญาณรบกวนในงานวิจัยนี้ให้ผลเป็นที่น่าพึงพอใจ แต่ทว่าความผิดพลาดนั้นสามารถเกิดขึ้นได้ในบางกรณีซึ่งเป็นผลให้ระบบเตือนการหกล้ม ในขณะที่ไม่มีการหกล้มเกิดขึ้น การปรับปรุงฟิลเตอร์ที่ใช้ในการกรองสัญญาณรบกวน หรือการเพิ่มประสิทธิภาพของฟิลเตอร์ที่ใช้จึงเป็นหัวข้อที่น่าสนใจในการพัฒนางานด้านนี้ต่อไป

### 5.3.3 การขาดหายของข้อมูล

ในบางกรณีข้อมูลมีการขาดหายไปเป็นบางครั้ง ซึ่งระบบในตอนนี้ยังไม่สามารถรองรับข้อมูลที่มีระยะห่างไม่สม่ำเสมอได้ การแก้ปัญหานี้ต้องการการวิจัยเพิ่มเติมว่าในกรณีที่ข้อมูลไม่ต่อเนื่องจะสามารถชดเชยหรือประมาณการข้อมูลนี้ได้อย่างไร รวมทั้งต้องมีระบบที่สามารถรองรับการกระทำดังกล่าวได้อีกด้วย

และระบบนี้ยังไม่รองรับการตรวจจับในกรณีที่ผู้แสดงออกนอกขอบเขตการตรวจสอบ หรือการล้มเกิดขึ้นหลังสิ่งกีดขวาง นับเป็นสิ่งที่ควรพัฒนาในขั้นต่อไป โดย ณ ตอนนี้มีงานวิจัยที่แสดงตัวอย่างการแก้ปัญหาการตรวจจับการล้มหลังสิ่งกีดขวางเช่นงานของ Rougier[39] เป็นต้น

### 5.3.4 การตรวจจับการหกล้ม

เพื่อเพิ่มความแม่นยำและความยืดหยุ่นในการตรวจจับการหกล้ม การเพิ่มตัวแปรในการตรวจจับนับเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ โดยตัวเลือกที่อยู่ในข่ายควรได้รับการพิจารณาเช่น ระยะความสูงของศีรษะเมื่อเทียบกับความเร็วแนวตั้ง ทำทางของร่างกาย ระยะเวลาที่นอนอยู่นิ่งๆกับพื้น เป็นต้น ตัวแปรเหล่านี้สามารถนำมาใช้ร่วมกับความเร็วและความเร่งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบได้ดียิ่งขึ้น

### 5.3.5 ระบบที่สมบูรณ์แบบ

ในงานวิจัยนี้เป็นแค่ส่วนหนึ่งของระบบเต็มรูปแบบเท่านั้น ภาพของระบบที่ได้มีรูปแบบที่ได้พิจารณาเอาไว้แต่ไม่ได้อยู่ในขอบข่ายของงานวิจัยชิ้นนี้คือ ระบบส่งสัญญาณเตือนต่อผู้ที่เกี่ยวข้องผ่านทาง SMS หรือ e-mail และระบบส่งภาพ 5 วินาที ก่อนเกิดการหล่นสู่ศูนย์ควบคุมเพื่อคัดกรอง-ประเมิน การหล่นด้วยสายตาคน ทั้งสองส่วนนี้จะช่วยทำให้ระบบสมบูรณ์แบบยิ่งขึ้น

## รายการอ้างอิง

- [1] United Nations. Department of Economic and Social Affairs. Population Division, *World population ageing 1950-2050*. New York: United Nations, 2002.
- [2] ชุณหรัศมิ์สมศักดิ์, “สถานการณ์ผู้สูงอายุไทย พ.ศ.2553,” มูลนิธิสถาบันวิจัยและพัฒนาผู้สูงอายุไทย (มส.ผส.), 2010.
- [3] V. Vaidehi, K. Ganapathy, K. Mohan, A. Aldrin, and K. Nirmal, “Video based automatic fall detection in indoor environment,” in *Recent Trends in Information Technology (ICRTIT), 2011 International Conference on*, 2011, pp. 1016–1020.
- [4] J. M. Hausdorff, D. A. Rios, and H. K. Edelberg, “Gait variability and fall risk in community-living older adults: a 1-year prospective study,” *Arch Phys Med Rehabil*, vol. 82, no. 8, pp. 1050–1056, Aug. 2001.
- [5] Centers for Disease Control and Prevention, National Center for Injury Prevention and Control, “Web-based Injury Statistics Query and Reporting System (WISQARS),” 2013. [Online]. Available: <http://webappa.cdc.gov/>. [Accessed: 04-Mar-2013].
- [6] เอกพลากรวิชัย, ปรีปักษ์ขามเขาวรัตน์, ฐานิพานิชสกุลสุรศักดิ์, พรรคเจริญหทัยชนก, เสถียรนพแก้วราภรณ์, and ไพฑุก์ถักนิษฐา, *รายงานการสำรวจสุขภาพประชาชนไทยโดยการตรวจร่างกายครั้งที่ 4*. National health examination survey office., 2009.
- [7] Young-Sook Lee and Wan-Young Chung, “Automated abnormal behavior detection for ubiquitous healthcare application in daytime and nighttime,” 2012, pp. 204–207.
- [8] Q. V. Vo, G. Lee, and D. Choi, “Fall Detection Based on Movement and Smart Phone Technology,” 2012, pp. 1–4.
- [9] Z. Zhang, “Microsoft Kinect Sensor and Its Effect,” *MultiMedia, IEEE*, vol. 19, no. 2, pp. 4–10, 2012.
- [10] P. Benavidez and M. Jamshidi, “Mobile robot navigation and target tracking system,” in *System of Systems Engineering (SoSE), 2011 6th International Conference on*, 2011, pp. 299–304.
- [11] K. Berger, K. Ruhl, M. Albers, Y. Schroder, A. Scholz, J. Kokemuller, S. Guthe, and M. Magnor, “The capturing of turbulent gas flows using multiple Kinects,” in *Computer Vision Workshops (ICCV Workshops), 2011 IEEE International Conference on*, 2011, pp. 1108–1113.
- [12] C. Bellmore, R. Ptucha, and A. Savakis, “Interactive display using depth and RGB sensors for face and gesture control,” in *Image Processing Workshop (WNYIPW), 2011 IEEE Western New York*, 2011, pp. 1–4.
- [13] Xiaoyi Yu, Lingyi Wu, Qingfeng Liu, and Han Zhou, “Children tantrum behaviour analysis based on Kinect sensor,” 2011, pp. 49–52.
- [14] G. F. Fuller, “Falls in the elderly,” *Am Fam Physician*, vol. 61, no. 7, pp. 2159–2168, 2173–2174, Apr. 2000.
- [15] D. Wild, U. S. Nayak, and B. Isaacs, “How dangerous are falls in old people at home?,” *Br Med J (Clin Res Ed)*, vol. 282, no. 6260, pp. 266–268, Jan. 1981.
- [16] S. R. Lord, C. Sherrington, and H. B. Menz, *Falls in older people*. Cambridge: Cambridge university press, 2001.
- [17] R. J. Gurley, N. Lum, M. Sande, B. Lo, and M. H. Katz, “Persons found in their homes helpless or dead,” *N. Engl. J. Med.*, vol. 334, no. 26, pp. 1710–1716, Jun. 1996.

- [18] U. Lindemann, A. Hock, M. Stuber, W. Keck, and C. Becker, "Evaluation of a fall detector based on accelerometers: A pilot study," *Medical & Biological Engineering & Computing*, vol. 43, no. 5, pp. 548–551, Oct. 2005.
- [19] C. J. Lord and D. P. Colvin, "Falls In The Elderly: Detection And Assessment," presented at the Engineering in Medicine and Biology Society, 1991. Vol.13: 1991., Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE, 31, pp. 1938–1939.
- [20] G. Wu, "Distinguishing fall activities from normal activities by velocity characteristics," *Journal of Biomechanics*, vol. 33, no. 11, pp. 1497–1500, Nov. 2000.
- [21] Yun Li, K. C. Ho, and M. Popescu, "A Microphone Array System for Automatic Fall Detection," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 59, no. 5, pp. 1291–1301, May 2012.
- [22] A. K. Bourke and G. M. Lyons, "A threshold-based fall-detection algorithm using a bi-axial gyroscope sensor," *Medical Engineering & Physics*, vol. 30, no. 1, pp. 84–90, Jan. 2008.
- [23] G. Williams, K. Doughty, K. Cameron, and D. A. Bradley, "A smart fall and activity monitor for telecare applications," presented at the Engineering in Medicine and Biology Society, 1998. Proceedings of the 20th Annual International Conference of the IEEE, 29, vol. 3, pp. 1151–1154 vol.3.
- [24] N. Noury, T. Herve, V. Rialle, G. Virone, E. Mercier, G. Morey, A. Moro, and T. Porcheron, "Monitoring behavior in home using a smart fall sensor and position sensors," presented at the Microtechnologies in Medicine and Biology, 1st Annual International, Conference On. 2000, 2000, pp. 607–610.
- [25] N Noury, A Tarmizi, D Savall, P Boissy, P Barralon, G Virone, and P Rumeau, "A smart sensor for fall detection in daily routine," in *SICICA2003, Aveiro-Portugal*, Mar. 2003.
- [26] Y. Depeursinge, J. Krauss, and M. El-khoury, "Device for monitoring the activity of a person and/or detecting a fall, in particular with a view to providing help in the event of an incident hazardous to life or limb," 6201476.
- [27] T. Zhang, J. Wang, P. Liu, and J. Hou, "Fall Detection by Embedding an Accelerometer in Cellphone and Using KFD Algorithm," *IJCSNS*, vol. 6, no. 10, p. 277, 2006.
- [28] Chankyu Park, Jaehong Kim, and Ho-Jin Choi, "A watch-type human activity detector for the aged care," presented at the Advanced Communication Technology (ICACT), 2012 14th International Conference on, 19, pp. 648–652.
- [29] M. J. Mathie, J. Basilakis, and B. G. Celler, "A system for monitoring posture and physical activity using accelerometers," presented at the Engineering in Medicine and Biology Society, 2001. Proceedings of the 23rd Annual International Conference of the IEEE, 2001, vol. 4, pp. 3654–3657 vol.4.
- [30] M. Prado, J. Reina-Tosina, and L. Roa, "Distributed intelligent architecture for falling detection and physical activity analysis in the elderly," presented at the Engineering in Medicine and Biology, 2002. 24th Annual Conference and the Annual Fall Meeting of the Biomedical Engineering Society EMBS/BMES Conference, 2002. Proceedings of the Second Joint, 23, vol. 3, pp. 1910–1911 vol.3.
- [31] A. K. Bourke, J. V. O'Brien, and G. M. Lyons, "Evaluation of a threshold-based tri-axial accelerometer fall detection algorithm," *Gait & Posture*, vol. 26, no. 2, pp. 194–199, Jul. 2007.
- [32] M. Mubashir, L. Shao, and L. Seed, "A survey on fall detection: Principles and approaches," *Neurocomputing*, vol. 100, pp. 144–152, Jan. 2013.
- [33] H. Nait-Charif and S. J. McKenna, "Activity summarisation and fall detection in a supportive home environment," presented at the Pattern Recognition, 2004. ICPR



2004. Proceedings of the 17th International Conference on, 23, vol. 4, pp. 323–326 Vol.4.
- [34] C. Rougier and J. Meunier, “Demo: Fall detection using 3D head trajectory extracted from a single camera video sequence,” presented at the The First International Workshop on Video Processing for Security (VP4S-06), Quebec City, Canada, 2006.
- [35] H. Foroughi, B. S. Aski, and H. Pourreza, “Intelligent video surveillance for monitoring fall detection of elderly in home environments,” presented at the Computer and Information Technology, 2008. ICCIT 2008. 11th International Conference on, 24, pp. 219–224.
- [36] Shaou-Gang Miaou, Pei-Hsu Sung, and Chia-Yuan Huang, “A Customized Human Fall Detection System Using Omni-Camera Images and Personal Information,” presented at the Distributed Diagnosis and Home Healthcare, 2006. D2H2. 1st Transdisciplinary Conference on, 2, pp. 39–42.
- [37] Ji Tao, M. Turjo, Mun-Fei Wong, Mengdi Wang, and Yap-Peng Tan, “Fall Incidents Detection for Intelligent Video Surveillance,” presented at the Information, Communications and Signal Processing, 2005 Fifth International Conference on, 2005, pp. 1590–1594.
- [38] A. Williams, D. Ganesan, and A. Hanson, “Aging in place: fall detection and localization in a distributed smart camera network,” in *International Multimedia Conference: Proceedings of the 15 th international conference on Multimedia*, 2007, vol. 25, pp. 892–901.
- [39] C. Rougier, E. Auvinet, J. Rousseau, M. Mignotte, and J. Meunier, “Fall detection from depth map video sequences,” in *Proceedings of the 9th international conference on Toward useful services for elderly and people with disabilities: smart homes and health telematics*, Montreal, Canada, 2011, pp. 121–128.
- [40] T. Gill, J. M. Keller, D. T. Anderson, and R. H. Luke, “A system for change detection and human recognition in voxel space using the Microsoft Kinect sensor,” 2011.
- [41] G. Mastorakis and D. Makris, “Fall detection system using Kinect’s infrared sensor,” *Journal of Real-Time Image Processing*, pp. 1–12.
- [42] R. Planinc and M. Kampel, “Introducing the use of depth data for fall detection,” *Pers Ubiquit Comput*, pp. 1–10, May 2012.
- [43] M. Kepski, B. Kwolek, and I. Austvoll, “Fuzzy Inference-Based Reliable Fall Detection Using Kinect and Accelerometer,” in *Artificial Intelligence and Soft Computing*, vol. 7267, L. Rutkowski, M. Korytkowski, R. Scherer, R. Tadeusiewicz, L. Zadeh, and J. Zurada, Eds. Springer Berlin Heidelberg, 2012, pp. 266–273.
- [44] Anh Tuan Nghiem, E. Auvinet, and J. Meunier, “Head detection using Kinect camera and its application to fall detection,” presented at the Information Science, Signal Processing and their Applications (ISSPA), 2012 11th International Conference on, 2, pp. 164–169.
- [45] Z. Zhang, W. Liu, V. Metsis, and V. Athitsos, “A Viewpoint-Independent Statistical Method for Fall Detection,” in *International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, 2012.
- [46] X. Zhuang, J. Huang, G. Potamianos, and M. Hasegawa-Johnson, “Acoustic fall detection using Gaussian mixture models and GMM supervectors,” in *Acoustics, Speech and Signal Processing, 2009. ICASSP 2009. IEEE International Conference on*, 2009, pp. 69–72.
- [47] M. Alwan, P. J. Rajendran, S. Kell, D. Mack, S. Dalal, M. Wolfe, and R. Felder, “A Smart and Passive Floor-Vibration Based Fall Detector for Elderly,” presented at the Information and Communication Technologies, 2006. ICTTA '06. 2nd, 2006, vol. 1, pp. 1003–1007.

- [48] B. U. Toreyin, E. B. Soyer, I. Onaran, and A. E. Cetin, "Falling Person Detection Using Multi-sensor Signal Processing," presented at the Signal Processing and Communications Applications, 2007. SIU 2007. IEEE 15th, 11, pp. 1–4.
- [49] T. Kim, "Gamasutra - News - In-Depth: Eye To Eye - The History Of EyeToy," *Gamasutra*, 06-Nov-2008. [Online]. Available: [http://www.gamasutra.com/php-bin/news\\_index.php?story=20975#.UTsEhDfdI08](http://www.gamasutra.com/php-bin/news_index.php?story=20975#.UTsEhDfdI08). [Accessed: 09-Mar-2013].
- [50] K. Sanders and M. Casamassina, "US Wii Price, Launch Date Revealed - IGN," *IGN*, 13-Sep-2006. [Online]. Available: <http://www.ign.com/articles/2006/09/14/us-wii-price-launch-date-revealed>. [Accessed: 09-Mar-2013].
- [51] T. Deyle, "Low-Cost Depth Cameras (aka Ranging Cameras or RGB-D Cameras) to Emerge in 2010? | Hizook," *Hizook*, 09-Mar-2010. [Online]. Available: <http://www.hizook.com/blog/2010/03/28/low-cost-depth-cameras-aka-ranging-cameras-or-rgb-d-cameras-emerge-2010>. [Accessed: 09-Mar-2013].
- [52] Microsoft MSDN, "Kinect for Windows Sensor Components and Specifications." [Online]. Available: <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/jj131033.aspx>. [Accessed: 18-Mar-2013].
- [53] D. Fofi, "A comparative survey on invisible structured light," 2004, vol. 5303, pp. 90–98.
- [54] A. Lejeune, M. Van Droogenbroeck, and J. Verly, "The secrets of the Kinect ... in depth!," presented at the 3D Stereo MEDIA 2011, Laboratory for Signal and Image Exploitation (INTELSIG) Department of Electrical Engineering and Computer Science University of Liège, 05-Dec-2011.
- [55] K. Khoshelham and S. O. Elberink, "Accuracy and Resolution of Kinect Depth Data for Indoor Mapping Applications," *Sensors*, vol. 12, no. 2, pp. 1437–1454, Feb. 2012.
- [56] C. Sinthanayothin, N. Wongwaen, and W. Bholsithi, "Skeleton Tracking using Kinect Sensor & Displaying in 3D Virtual Scene," National Electronics and Computer Technology Center.
- [57] J. Shotton, A. Fitzgibbon, M. Cook, T. Sharp, M. Finocchio, R. Moore, A. Kipman, and A. Blake, "Real-time human pose recognition in parts from single depth images," presented at the Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2011 IEEE Conference on, 20, pp. 1297–1304.
- [58] M. Azimi, "Skeletal Joint Smoothing White Paper," *MSDN*. [Online]. Available: <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/jj131429.aspx#ID4EMHAC>. [Accessed: 17-Feb-2013].
- [59] A. K. Bourke, K. J. O'Donovan, J. Nelson, and G. M. OLaighin, "Fall-detection through vertical velocity thresholding using a tri-axial accelerometer characterized using an optical motion-capture system," in *Engineering in Medicine and Biology Society, 2008. EMBS 2008. 30th Annual International Conference of the IEEE*, 2008, pp. 2832–2835.
- [60] A. K. Bourke, K. J. O'Donovan, and G. M. OLaighin, "Distinguishing falls from normal ADL using vertical velocity profiles," *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*, vol. 2007, pp. 3176–3179, 2007.
- [61] J. Steinier, Y. Termonia, and J. Deltour, "Comments on smoothing and differentiation of data by simplified least square procedure," *Analytical Chemistry*, vol. 44, no. 11, pp. 1906–1909, 1972.
- [62] H. H. Madden, "Comments on the Savitzky-Golay convolution method for least-squares-fit smoothing and differentiation of digital data," *Analytical Chemistry*, vol. 50, no. 9, pp. 1383–1386, 1978.
- [63] P. A. Baedeker, "Comments on least-squares polynomial filters for initial point and slope estimation," *Analytical Chemistry*, vol. 57, no. 7, pp. 1477–1479, Jun. 1985.

- [64] P. A. Gorry, "General least-squares smoothing and differentiation of nonuniformly spaced data by the convolution method," *Analytical Chemistry*, vol. 63, no. 5, pp. 534–536, Mar. 1991.
- [65] A. K. Bourke, P. van de Ven, M. Gamble, R. O'Connor, K. Murphy, E. Bogan, E. McQuade, P. Finucane, G. ÓLaighin, and J. Nelson, "Evaluation of waist-mounted tri-axial accelerometer based fall-detection algorithms during scripted and continuous unscripted activities," *Journal of biomechanics*, vol. 43, no. 15, pp. 3051–3057, Nov. 2010.
- [66] Y.-S. Lee and W.-Y. Chung, "Visual Sensor Based Abnormal Event Detection with Moving Shadow Removal in Home Healthcare Applications," *Sensors*, vol. 12, no. 12, pp. 573–584, Jan. 2012.

ภาคผนวก

ภาคผนวก - ค่าสัมประสิทธิ์ของ Savitzky-Golay Filter

| ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับการลดสัญญาณรบกวน |                                 |               |               |                        |          |                |              |              |                      |
|---------------------------------------|---------------------------------|---------------|---------------|------------------------|----------|----------------|--------------|--------------|----------------------|
| ตำแหน่งของ<br>สัมประสิทธิ์            | ตำแหน่งของข้อมูลที่ต้องการคำนวณ |               |               |                        |          |                |              |              |                      |
|                                       | จุดเริ่มต้น                     | จุดเริ่มต้น+1 | จุดเริ่มต้น+2 | จุดเริ่มต้น+3          | จุดอื่นๆ | จุดปลายสุด-3   | จุดปลายสุด-2 | จุดปลายสุด-1 | จุดปลายสุด           |
| N-4                                   | 0.858586                        | 0.282828      | -0.0202       | -0.12121               | -0.09091 | $1.1110^{-16}$ | 0.080808     | 0.080808     | -0.07071             |
| N-3                                   | 0.282828                        | 0.328283      | 0.282828      | 0.181818               | 0.060606 | -0.04545       | -0.10101     | -0.07071     | 0.080808             |
| N-2                                   | -0.0202                         | 0.282828      | 0.371573      | 0.311688               | 0.168831 | 0.008658       | -0.10317     | -0.10101     | 0.080808             |
| N-1                                   | -0.12121                        | 0.181818      | 0.311688      | 0.313853               | 0.233766 | 0.116883       | 0.008658     | -0.04545     | $-1 \times 10^{-17}$ |
| N                                     | -0.09091                        | 0.060606      | 0.168831      | 0.233766               | 0.255411 | 0.233766       | 0.168831     | 0.060606     | -0.09091             |
| N+1                                   | $3.8210^{-17}$                  | -0.04545      | 0.008658      | 0.116883               | 0.233766 | 0.313853       | 0.311688     | 0.181818     | -0.12121             |
| N+2                                   | 0.080808                        | -0.10101      | -0.10317      | 0.008658               | 0.168831 | 0.311688       | 0.371573     | 0.282828     | -0.0202              |
| N+3                                   | 0.080808                        | -0.07071      | -0.10101      | -0.04545               | 0.060606 | 0.181818       | 0.282828     | 0.328283     | 0.282828             |
| N+4                                   | -0.07071                        | 0.080808      | 0.080808      | $5.55 \times 10^{-17}$ | -0.09091 | -0.12121       | -0.0202      | 0.282828     | 0.858586             |

ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับการคำนวณความเร็ว

| ตำแหน่งของ<br>สัมประสิทธิ์ | ตำแหน่งของข้อมูลที่ต้องการคำนวณ |               |               |               |          |              |              |              |            |
|----------------------------|---------------------------------|---------------|---------------|---------------|----------|--------------|--------------|--------------|------------|
|                            | จุดเริ่มต้น                     | จุดเริ่มต้น+1 | จุดเริ่มต้น+2 | จุดเริ่มต้น+3 | จุดอื่นๆ | จุดปลายสุด-3 | จุดปลายสุด-2 | จุดปลายสุด-1 | จุดปลายสุด |
| N-4                        | -0.73569                        | -0.42761      | -0.19024      | -0.02357      | 0.072391 | 0.097643     | 0.052189     | -0.06397     | -0.25084   |
| N-3                        | 0.102694                        | -0.00589      | -0.07912      | -0.117        | -0.11953 | -0.0867      | -0.01852     | 0.085017     | 0.223906   |
| N-2                        | 0.432059                        | 0.184945      | 0.003487      | -0.11231      | -0.16246 | -0.14695     | -0.06578     | 0.081049     | 0.293531   |
| N-1                        | 0.404762                        | 0.208874      | 0.058442      | -0.04654      | -0.10606 | -0.12013     | -0.08874     | -0.0119      | 0.11039    |
| N                          | 0.17316                         | 0.12987       | 0.08658       | 0.04329       | 0        | -0.04329     | -0.08658     | -0.12987     | -0.17316   |
| N+1                        | -0.11039                        | 0.011905      | 0.088745      | 0.12013       | 0.106061 | 0.046537     | -0.05844     | -0.20887     | -0.40476   |
| N+2                        | -0.29353                        | -0.08105      | 0.065777      | 0.146946      | 0.162458 | 0.112314     | -0.00349     | -0.18494     | -0.43206   |
| N+3                        | -0.22391                        | -0.08502      | 0.018519      | 0.0867        | 0.119529 | 0.117003     | 0.079125     | 0.005892     | -0.10269   |
| N+4                        | 0.250842                        | 0.063973      | -0.05219      | -0.09764      | -0.07239 | 0.023569     | 0.190236     | 0.427609     | 0.73569    |

ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับการคำนวณความเร่ง

| ตำแหน่งของ<br>สัมประสิทธิ์ | ตำแหน่งของข้อมูลที่ต้องการคำนวณ |               |               |               |          |              |              |              |            |
|----------------------------|---------------------------------|---------------|---------------|---------------|----------|--------------|--------------|--------------|------------|
|                            | จุดเริ่มต้น                     | จุดเริ่มต้น+1 | จุดเริ่มต้น+2 | จุดเริ่มต้น+3 | จุดอื่นๆ | จุดปลายสุด-3 | จุดปลายสุด-2 | จุดปลายสุด-1 | จุดปลายสุด |
| N-4                        | 0.343434                        | 0.272727      | 0.20202       | 0.131313      | 0.060606 | -0.0101      | -0.08081     | -0.15152     | -0.22222   |
| N-3                        | -0.12626                        | -0.09091      | -0.05556      | -0.0202       | 0.015152 | 0.050505     | 0.085859     | 0.121212     | 0.156566   |
| N-2                        | -0.27994                        | -0.21429      | -0.14863      | -0.08297      | -0.01732 | 0.048341     | 0.113997     | 0.179654     | 0.24531    |
| N-1                        | -0.21861                        | -0.17316      | -0.12771      | -0.08225      | -0.0368  | 0.008658     | 0.054113     | 0.099567     | 0.145022   |
| N                          | -0.04329                        | -0.04329      | -0.04329      | -0.04329      | -0.04329 | -0.04329     | -0.04329     | -0.04329     | -0.04329   |
| N+1                        | 0.145022                        | 0.099567      | 0.054113      | 0.008658      | -0.0368  | -0.08225     | -0.12771     | -0.17316     | -0.21861   |
| N+2                        | 0.24531                         | 0.179654      | 0.113997      | 0.048341      | -0.01732 | -0.08297     | -0.14863     | -0.21429     | -0.27994   |
| N+3                        | 0.156566                        | 0.121212      | 0.085859      | 0.050505      | 0.015152 | -0.0202      | -0.05556     | -0.09091     | -0.12626   |
| N+4                        | -0.22222                        | -0.15152      | -0.08081      | -0.0101       | 0.060606 | 0.131313     | 0.20202      | 0.272727     | 0.343434   |

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

- พ.ศ. 2536 สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาปลาย โรงเรียน “เซนต์จอห์น”
- พ.ศ. 2541 สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- พ.ศ. 2554 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีทางภาพถ่าย คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย