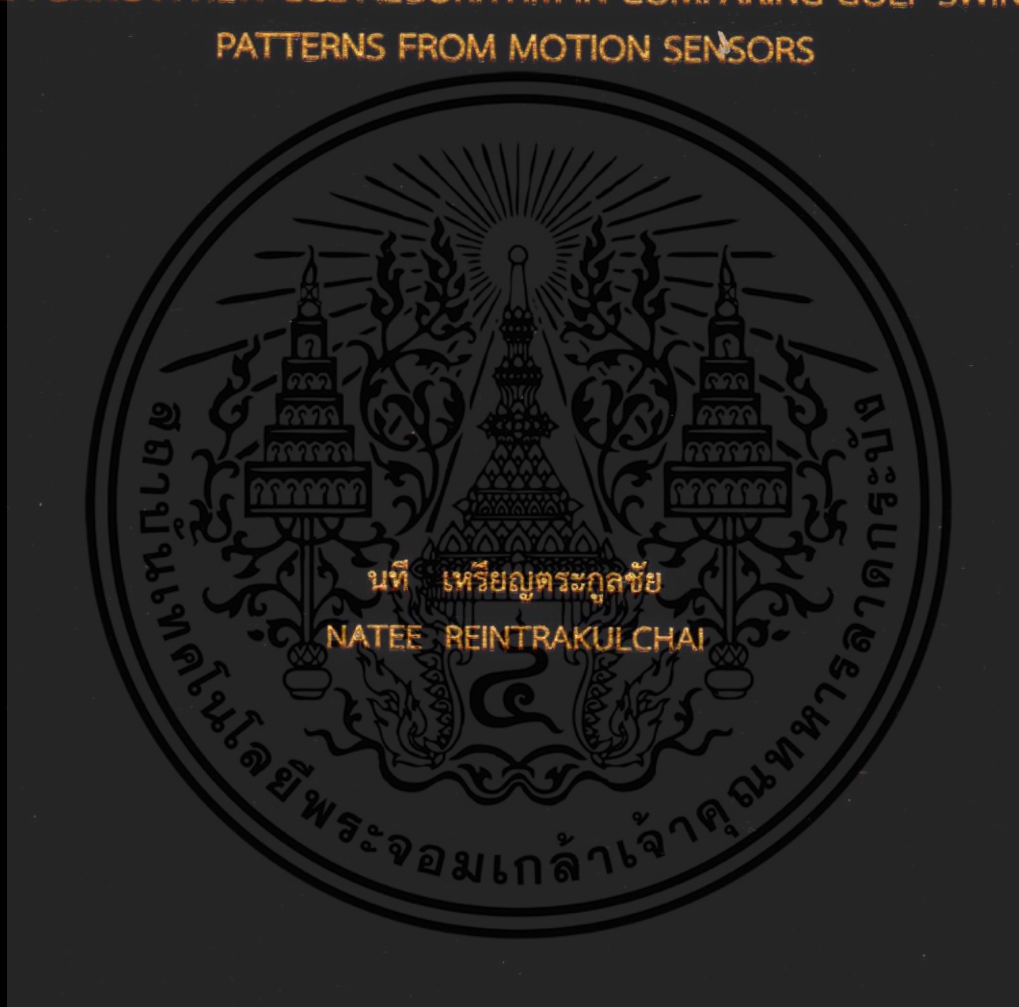


การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมใหม่ซีซีแอลเพื่อเปรียบเทียบรูปแบบการสวิงกอล์ฟ
โดยใช้ข้อมูลจากเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว

APPLYING A NEW CCL ALGORITHM IN COMPARING GOLF SWING
PATTERNS FROM MOTION SENSORS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์
สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2558

KMITL-2015-SC-M-002-063

การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมใหม่ซีซีแอลเพื่อเปรียบเทียบรูปแบบการสวิงกอล์ฟ
โดยใช้ข้อมูลจากเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว

APPLYING A NEW CCL ALGORITHM IN COMPARING GOLF SWING
PATTERNS FROM MOTION SENSORS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์
สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2558

KMITL-2015-SC-M-002-063

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLYING A NEW CCL ALGORITHM IN COMPARING GOLF SWING
PATTERNS FROM MOTION SENSORS



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE
DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN COMPUTER SCIENCE
DEPARTMENT OF SCIENCE
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2015
KMITL-2015-SC-M-002-063

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2015

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์

“การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมใหม่ซีซีแอลเพื่อเปรียบเทียบรูปแบบการสวิงกอล์ฟโดยใช้ข้อมูลจากเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว”

“APPLYING A NEW CCL ALGORITHM IN COMPARING GOLF SWING PATTERNS FROM MOTION SENSORS”

ชื่อนักศึกษา

นายนที เจริญตระกูลชัย

รหัสประจำตัว

54650807

ปริญญา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์)

ภาควิชา

วิทยาการคอมพิวเตอร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ดร.วรางคณา กัมปาน

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.อนันตพร ทรราชคุณาฒย์ ประธานกรรมการ ดร.รุ่งรัตน์ เวียงศรีพนาวัลย์ อาจารย์บัณฑิตประจำ (ในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง) ผศ.ดร.กฤษณะ ชินสาร ผู้ทรงคุณวุฒิจากภายนอกสถาบันฯ ดร.วรางคณา กัมปาน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	

วัน/ เดือน/ ปี ที่สอบ 1 ธันวาคม พ.ศ. 2558 เวลา 09.00-12.00 น.

สถานที่สอบ ณ ห้อง 304 อาคารปฏิบัติการหลังใหม่

คณะวิทยาศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ดุชนันท์ ธนะบริพัฒน์)

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

วันที่.....เดือน.....ปี.....พ.ศ.....๕๙

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมใหม่ซีซีแอลเพื่อเปรียบเทียบรูปแบบการสวิงกอล์ฟโดยใช้ข้อมูลจากเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว
นักศึกษา	นายนที เจริญตระกูลชัย
รหัสประจำตัว	54650807
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชา	วิทยาการคอมพิวเตอร์
พ.ศ.	2558
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.วรางคณา กัมปาน

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เสนอวิธีการประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธี Clustering and Compare in Linear Form หรือ CCL เพื่อการเปรียบเทียบรูปแบบการสวิงกอล์ฟ โดยใช้ข้อมูลการบิดหมุนและความเร่งจากเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว 9 Degrees of Freedom - Razor IMU 2 ชุด ตรวจวัดการเคลื่อนไหวที่กล้ามเนื้อหลังส่วนบนและส่วนล่าง การเปรียบเทียบประกอบด้วย 3 ขั้นตอนคือการปรับข้อมูลโดยการเฉลี่ยชุดข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ การปรับข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้นในแต่ละช่วงเวลา และทำการเปรียบเทียบการเคลื่อนไหวที่เกิดขึ้นในแต่ละท่าของการสวิง จากอัตราการเปลี่ยนแปลงหรือความชันของเส้นตรง ขั้นตอนวิธี CCL ในงานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบกับการวัดความเหมือนของชุดข้อมูลด้วยขั้นตอนวิธี Cosine Similarity และ Symmetric Mean Absolute Percentage Error (SMAPE) เพื่อแสดงให้เห็นถึงข้อได้เปรียบในแง่ของความถูกต้อง ของการเปรียบเทียบข้อมูลการสวิงกอล์ฟ 2 ชุด ที่มีท่าทางการเคลื่อนไหวที่เริ่มต้นไม่พร้อมกัน และการใช้เวลาในแต่ละท่าไม่เท่ากัน ขั้นตอนวิธี CC-L สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการฝึกการสวิงกอล์ฟได้ โดยใช้ในการเปรียบเทียบการสวิงที่ถูกต้อง หรือรูปแบบการสวิงจากผู้เชี่ยวชาญ เพื่อพัฒนาการสวิงทั้งในแง่ของเทคนิค และป้องกันการบาดเจ็บจากการสวิงกอล์ฟที่ผิดรูปแบบ อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้เป็นต้นแบบการพัฒนาไปสู่การวิเคราะห์รูปแบบการสวิงที่ก่อให้เกิดอาการบาดเจ็บ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อแพทย์และนักกายภาพบำบัดในอนาคต

คำสำคัญ: การวิเคราะห์การเคลื่อนไหว การสวิงกอล์ฟ การเปรียบเทียบชุดข้อมูล เซ็นเซอร์การเคลื่อนไหว

Thesis Title Applying a New CCL Algorithm in Comparing Golf Swing Patterns from Motion Sensors

Student Natee Reintrakulchai

Student ID 54650807

Degree Master of Science

Department Computer Science

Year 2015

Thesis Advisor Dr. Warangkhana Kimpan

ABSTRACT

This research proposes Applying a new CCL Algorithm in Comparing Golf Swing Patterns from Motion Sensors. The body movement data are collected from upper back and lower back muscles using two 9 Degrees of Freedom - Razor IMUs. The data are then classified according to the similarity of the changing ratio. The data are classified in two steps: the deviation reduction from sensors and the changing ratio at each the period of time. The experimental results show the modified data in the form of Linear equation which consists of many straight lines and comparing with Cosine Similarity and Symmetric Mean Absolute Percentage to prove the advantages in term of data comparing. Each line represents each player which can be compared to one another and can also be adapted to the similar golf swing pattern data classification which can help the golf trainers or the doctors for physical therapy. This proposes method can be applied to use with other certain patterns sports.

Keywords: CCL Algorithm, Data Comparing, Golf Swing, Motion Sensor, Pattern Analysis

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ ตั้งแต่เริ่มต้นจนสำเร็จลุล่วงนั้น นับว่าเป็นความภาคภูมิใจของผู้วิจัยเป็นอย่างยิ่ง หากลำพังผู้วิจัยผู้เดียวคงไม่สามารถดำเนินงานจนสำเร็จลุล่วงได้เช่นนี้ ทั้งนี้เพราะได้รับความกรุณาจากบุคคลดังนี้

ขอขอบพระคุณ ดร. วราภรณ์ กัมปาน อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้สละเวลาให้คำแนะนำ ดูแลเอาใจใส่ รวมทั้งให้ข้อคิด ความรู้และวิธีการที่เป็นประโยชน์ที่ใช้ในการทำวิจัยจนสำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนันตพร หาราชคุณาฒย ดร. รุ่งรัตน์ เวียงศรีพนาวัลย์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กฤษณะ ชินสาร คณะกรรมการสอบหัวข้อวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะจนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้

ขอขอบพระคุณ ดร. วรชาติ เจริญจันทร์ ที่ได้ให้คำแนะนำข้อมูลและวิธีการทางด้านการทำกายภาพบำบัด และการสวิตช์กล้ามเนื้อเป็นประโยชน์อย่างมากในการดำเนินงานวิจัยชิ้นนี้

ขอขอบคุณพระคุณบิดา มารดา และพี่ ที่สนับสนุนให้สำเร็จการศึกษาได้สมดังตั้งใจ อีกทั้งยังได้รับการสนับสนุนดูแลในเรื่องค่าใช้จ่ายต่างๆ ระหว่างการศึกษาเป็นอย่างดีอีกด้วย

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ร่วมรุ่น และพี่น้องทุกคนที่ให้คำปรึกษา และช่วยอำนวยความสะดวกในด้านต่างๆ

ท้ายสุดขอขอบคุณความดีและประโยชน์อันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดา มารดา อาจารย์ทุกท่านซึ่งเป็นที่เคารพรักยิ่ง ตลอดจนญาติพี่น้อง รุ่นพี่และเพื่อนๆ ที่รักทุกคน

นที เหมยบุตรกุลชัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 สมมติฐานของงานวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.5 ขั้นตอนการศึกษาและดำเนินงานวิจัย.....	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 การสวิงกอล์ฟ.....	5
2.1.1 ความสำคัญของการสวิงกอล์ฟ.....	5
2.1.2 ขั้นตอนของการสวิงกอล์ฟ.....	5
2.1.2.1 ทำการยืน (Setup).....	5
2.1.2.2 การลากไม้ (Back Swing-Takeaway).....	6
2.1.2.3 ครึ่งวงสวิง (Half Swing).....	7
2.1.2.4 ตำแหน่งสูงสุดของวงสวิง (Top Swing).....	7
2.1.2.5 การเริ่มเข้าตีลูก (Down Swing).....	8
2.1.2.6 จุดที่หน้าไม้ปะทะลูก (Impact).....	8
2.1.2.7 การส่งถ่ายพลัง (Follow Through).....	9
2.1.2.8 ทำจบของวงสวิง (Finish).....	9
2.2 เซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว.....	10
2.2.1 Razor IMU.....	10
2.2.1.1 ITG-3200 (MEMS Triple-Axis Gyro).....	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ท่านไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.1.2 ADXL345 (Triple-Axis Accelerometer)	11
2.2.1.3 HMC5883L (Triple-Axis Magnetometer).....	11
2.2.2 Bluetooth Mate Gold.....	12
2.2.3 Polymer Lithium Ion Battery.....	13
2.3 การดำเนินการข้อมูล.....	13
2.3.1 ความคลาดเคลื่อน (Errors).....	13
2.3.1.1 ความคลาดเคลื่อนเชิงบุคคล (Personal Errors).....	14
2.3.1.2 ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ (Symantic's Errors).....	14
2.3.1.3 ความคลาดเคลื่อนเชิงสถิติ (Statistical Errors).....	14
2.3.1.4 การถ่ายทอดความคลาดเคลื่อน (Propagation of Errors).....	15
2.3.2 การหาค่าความคลาดเคลื่อน.....	15
2.3.2.1 Mean Error (ME)	15
2.3.2.2 Mean Absolute Error (MAE)	16
2.3.2.3 Mean Squared Error (MSE).....	16
2.3.2.4 Mean Percentage Error (MPE)	16
2.3.2.5 Mean Absolute Percentage Error (MAPE)	16
2.3.2.6 Symmetric Mean Absolute Percentage Error (SMAPE or sMAPE)16	
2.3.2.7 Cosine Similarity	17
2.3.3 การเตรียมข้อมูล (Data Preprocessing)	17
2.3.3.1 การทำความสะอาดข้อมูล (Data Cleaning).....	17
2.3.3.2 การรวมกันของข้อมูล (Data Integration)	18
2.3.3.3 การปรับเปลี่ยนรูปแบบข้อมูล (Data Tranformation)	18
2.3.3.4 การลดรูปข้อมูล (Data Reduction).....	18
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
2.4.1 การสวิงกอล์ฟ	19
2.4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ตรวจวัดการเคลื่อนไหว	19
2.4.3 การดำเนินการข้อมูล.....	19
2.4.3.1 Inertial Navigation System.....	19
2.4.3.2 Kalman filter.....	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	22
3.1 การตรวจจับการสริงกอล์ฟ.....	23
3.2 ลักษณะข้อมูลที่ใช้ในการสริงกอล์ฟ.....	23
3.3 วิธีการจำแนกและเปรียบเทียบข้อมูลการเคลื่อนไหวในลักษณะเชิงเส้น (CCL)	23
3.3.1 การแบ่งกลุ่มข้อมูล.....	24
3.3.1.1 การลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูล.....	24
3.3.1.2 การแบ่งกลุ่มข้อมูลตามอัตราการเปลี่ยนแปลง	25
3.3.2 การเปรียบเทียบลักษณะข้อมูล	26
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....	29
4.1 การทดสอบ.....	29
4.2 ผลการทดสอบ.....	31
4.2.1 ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ.....	31
4.2.2 การลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูล.....	37
4.2.3 การปรับข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้นในแต่ละช่วงเวลา.....	45
4.2.4 การเปรียบเทียบลักษณะข้อมูล	52
บทที่ 5 บทสรุป.....	69
5.1 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	69
5.2 ข้อจำกัด.....	69
5.3 ข้อเสนอแนะ	70
เอกสารอ้างอิง	71
ภาคผนวก งานวิจัยที่ตีพิมพ์.....	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ความคลาดเคลื่อนจากขั้นตอนการปรับข้อมูลโดยการเฉลี่ยชุดข้อมูลที่หลังส่วนบน	43
4.2 ความคลาดเคลื่อนจากขั้นตอนการปรับข้อมูลโดยการเฉลี่ยชุดข้อมูลที่หลังส่วนล่าง	44
4.3 ความคลาดเคลื่อนจากขั้นตอนที่ 2 ข้อมูลที่หลังส่วนบน.....	51
4.4 ความคลาดเคลื่อนจากขั้นตอนที่ 2 ข้อมูลที่หลังส่วนล่าง.....	52
4.5 ร้อยละความเหมือนของการสวิงกอล์ฟที่หลังส่วนบนจากผู้ทดสอบคนที่ 2 เทียบกับข้อมูลการสวิง 5 ครั้งกับผู้ทดสอบคนที่ 1 ด้วยขั้นตอนวิธี SMAPE	59
4.6 ร้อยละความเหมือนของการสวิงกอล์ฟที่หลังส่วนล่างจากผู้ทดสอบคนที่ 2 เทียบกับข้อมูลการสวิง 5 ครั้งกับผู้ทดสอบคนที่ 1 ด้วยขั้นตอนวิธี SMAPE	59
4.7 ร้อยละความเหมือนของการสวิงกอล์ฟที่หลังส่วนบนจากผู้ทดสอบคนที่ 2 เทียบกับข้อมูลการสวิง 5 ครั้งกับผู้ทดสอบคนที่ 1 ด้วยขั้นตอนวิธี Cosine Similarity	60
4.8 ร้อยละความเหมือนของการสวิงกอล์ฟที่หลังส่วนล่างจากผู้ทดสอบคนที่ 2 เทียบกับข้อมูลการสวิง 5 ครั้งกับผู้ทดสอบคนที่ 1 ด้วยขั้นตอนวิธี Cosine Similarity	60
4.9 ร้อยละความเหมือนของการสวิงกอล์ฟที่หลังส่วนบนจากผู้ทดสอบคนที่ 2 เทียบกับข้อมูลการสวิง 5 ครั้งกับผู้ทดสอบคนที่ 1 ด้วยขั้นตอนวิธี CCL.....	67
4.10 ร้อยละความเหมือนของการสวิงกอล์ฟที่หลังส่วนล่างจากผู้ทดสอบคนที่ 2 เทียบกับข้อมูลการสวิง 5 ครั้งกับผู้ทดสอบคนที่ 1 ด้วยขั้นตอนวิธี CCL.....	67
4.11 ร้อยละความเหมือนของการสวิงกอล์ฟที่หลังส่วนล่างจากผู้ทดสอบคนที่ 2 เทียบกับข้อมูลการสวิง 5 ครั้งกับผู้ทดสอบคนที่ 1 ด้วยขั้นตอนวิธี Cosine Similarity, SMAPE และ CCL ..	68

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	วิธีการยีนสวิงกอล์ฟ..... 6
2.2	วิธีการลากไม้กอล์ฟ..... 6
2.3	ตำแหน่งครึ่งวงสวิง..... 7
2.4	ตำแหน่งสูงสุดของวงสวิง..... 7
2.5	การเริ่มเข้าตีลูก..... 8
2.6	ตำแหน่งการตีลูกกอล์ฟ..... 9
2.7	วิธีการถ่ายพลัง..... 9
2.8	ท่าจบวงสวิงกอล์ฟ..... 10
2.9	กล้อเสมือนการทำงานของไจโรสโคป (Gyroscope)..... 11
2.10	ลักษณะการวัดค่าของแอซเซลเรโรมิเตอร์ (Accelerometer)..... 11
2.11	การทำงานของแมกนีโทมิเตอร์ (Magnetometer)..... 12
2.12	ตัวส่งสัญญาณบลูทูธ รุ่นบลูทูธเมทโกล (Bluetooth Mate Gold)..... 13
2.13	แบตเตอรี่รุ่นพอลิเมอร์ ลิเทียมไอออน (Polymer Lithium Ion Battery)..... 13
2.14	ขั้นตอนวิธีของ Inertial Navigation System..... 20
2.15	รูปแบบมาตรฐานของ IMU..... 20
2.16	ผลการจำลองการประมาณระยะห่างระหว่างประชากรและเรือด้วย Kalman Filter..... 21
3.1	ลักษณะการติดตามเซ็นเซอร์และลักษณะข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์..... 23
3.2	การเฉลี่ยข้อมูลเพื่อลดความคลาดเคลื่อน..... 24
3.3	วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูล..... 26
3.4	วิธีการเปรียบเทียบชุดข้อมูล..... 28
4.1	ชุดอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลการสวิงกอล์ฟ (a) คือเสื่อประกอบเซ็นเซอร์และเสื่อรัดกล้ามเนื้อ (b) คือเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว (c) คือการจัดเก็บข้อมูลการสวิงกอล์ฟ..... 29
4.2	ขั้นตอนวิธี CCL..... 30
4.3	ข้อมูลการบิดหมุน yaw ที่กล้ามเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง..... 31
4.4	ข้อมูลการบิดหมุน roll ที่กล้ามเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง..... 31
4.5	ข้อมูลการบิดหมุน pitch ที่กล้ามเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง..... 32
4.6	ข้อมูลความเร่ง accel:x ที่กล้ามเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง..... 32
4.7	ข้อมูลความเร่ง accel:y ที่กล้ามเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง..... 33
4.8	ข้อมูลความเร่ง accel:z ที่กล้ามเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง..... 33

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 ข้อมูลการบิดหมุน yaw ที่กล้ำมเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง	34
4.10 ข้อมูลการบิดหมุน roll ที่กล้ำมเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง	34
4.11 ข้อมูลการบิดหมุน pitch ที่กล้ำมเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง	35
4.12 ข้อมูลความเร่ง accel:x ที่กล้ำมเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง	35
4.13 ข้อมูลความเร่ง accel:y ที่กล้ำมเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง	36
4.14 ข้อมูลความเร่ง accel:z ที่กล้ำมเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง	46
4.15 ข้อมูลการบิดหมุน yaw ที่กล้ำมเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง จากการลดความคลาดเคลื่อน ของข้อมูล	37
4.16 ข้อมูลการบิดหมุน roll ที่กล้ำมเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง จากการลดความคลาดเคลื่อน ของข้อมูล	38
4.17 ข้อมูลการบิดหมุน pitch ที่กล้ำมเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง จากการลดความคลาดเคลื่อน ของข้อมูล	38
4.18 ข้อมูลความเร่ง accel:x ที่กล้ำมเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง จากการลดความคลาดเคลื่อน ของข้อมูล	39
4.19 ข้อมูลความเร่ง accel:y ที่กล้ำมเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง จากการลดความคลาดเคลื่อน ของข้อมูล	39
4.20 ข้อมูลความเร่ง accel:z ที่กล้ำมเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง จากการลดความคลาดเคลื่อน ของข้อมูล	40
4.21 ข้อมูลการบิดหมุน yaw ที่กล้ำมเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง จากการลดความคลาดเคลื่อน ของข้อมูล	40
4.22 ข้อมูลการบิดหมุน roll ที่กล้ำมเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง จากการลดความคลาดเคลื่อน ของข้อมูล	41
4.23 ข้อมูลการบิดหมุน pitch ที่กล้ำมเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง จากการลดความคลาดเคลื่อน ของข้อมูล	41
4.24 ข้อมูลความเร่ง accel:x ที่กล้ำมเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง จากการลดความคลาดเคลื่อน ของข้อมูล	42
4.25 ข้อมูลความเร่ง accel:y ที่กล้ำมเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง จากการลดความคลาดเคลื่อน ของข้อมูล	42

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.26 ข้อมูลความเร่ง accel:z ที่กล้ำมเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง จากการลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูล.....	43
4.27 ข้อมูลการบิดหมุน yaw ที่กล้ำมเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง จากขั้นตอนการปรับข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้น	45
4.28 ข้อมูลการบิดหมุน roll ที่กล้ำมเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง จากขั้นตอนการปรับข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้น	46
4.29 ข้อมูลการบิดหมุน pitch ที่กล้ำมเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง จากขั้นตอนการปรับข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้น	46
4.30 ข้อมูลความเร่ง accel:x ที่กล้ำมเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง จากขั้นตอนการปรับข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้น	47
4.31 ข้อมูลความเร่ง accel:y ที่กล้ำมเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง จากขั้นตอนการปรับข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้น	47
4.32 ข้อมูลความเร่ง accel:z ที่กล้ำมเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง จากขั้นตอนการปรับข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้น	48
4.33 ข้อมูลการบิดหมุน yaw ที่กล้ำมเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง จากขั้นตอนการปรับข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้น	48
4.34 ข้อมูลการบิดหมุน roll ที่กล้ำมเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง จากขั้นตอนการปรับข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้น	49
4.35 ข้อมูลการบิดหมุน pitch ที่กล้ำมเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง จากขั้นตอนการปรับข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้น	49
4.36 ข้อมูลความเร่ง accel:x ที่กล้ำมเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง จากขั้นตอนการปรับข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้น	50
4.37 ข้อมูลความเร่ง accel:y ที่กล้ำมเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง จากขั้นตอนการปรับข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้น	50
4.38 ข้อมูลความเร่ง accel:z ที่กล้ำมเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง จากขั้นตอนการปรับข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้น	51
4.39 ข้อมูลการบิดหมุน yaw ที่กล้ำมเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง เปรียบเทียบกับการสวิงจากผู้ทดสอบที่ 2	53

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.40 ข้อมูลการบิดหมุน roll ที่กล้ามเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง เปรียบเทียบกับการสวิง จากผู้ทดสอบที่ 2	53
4.41 ข้อมูลการบิดหมุน pitch ที่กล้ามเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง เปรียบเทียบกับการสวิง จากผู้ทดสอบที่ 2	54
4.42 ข้อมูลความเร่ง accel:x ที่กล้ามเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง เปรียบเทียบกับการสวิง จากผู้ทดสอบที่ 2	54
4.43 ข้อมูลความเร่ง accel:y ที่กล้ามเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง เปรียบเทียบกับการสวิง จากผู้ทดสอบที่ 2	55
4.44 ข้อมูลความเร่ง accel:z ที่กล้ามเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง เปรียบเทียบกับการสวิง จากผู้ทดสอบที่ 2	55
4.45 ข้อมูลการบิดหมุน yaw ที่กล้ามเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง เปรียบเทียบกับการสวิง จากผู้ทดสอบที่ 2	56
4.46 ข้อมูลการบิดหมุน roll ที่กล้ามเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง เปรียบเทียบกับการสวิง จากผู้ทดสอบที่ 2	56
4.47 ข้อมูลการบิดหมุน pitch ที่กล้ามเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง เปรียบเทียบกับการสวิง จากผู้ทดสอบที่ 2	57
4.48 ข้อมูลความเร่ง accel:x ที่กล้ามเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง เปรียบเทียบกับการสวิง จากผู้ทดสอบที่ 2	57
4.49 ข้อมูลความเร่ง accel:y ที่กล้ามเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง เปรียบเทียบกับการสวิง จากผู้ทดสอบที่ 2	58
4.50 ข้อมูลความเร่ง accel:z ที่กล้ามเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง เปรียบเทียบกับการสวิง จากผู้ทดสอบที่ 2	58
4.51 ข้อมูลการบิดหมุน yaw ที่กล้ามเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง เปรียบเทียบกับการสวิง จากผู้ทดสอบที่ 2 (CCL).....	61
4.52 ข้อมูลการบิดหมุน roll ที่กล้ามเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง เปรียบเทียบกับการสวิง จากผู้ทดสอบที่ 2 (CCL).....	61
4.53 ข้อมูลการบิดหมุน pitch ที่กล้ามเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง เปรียบเทียบกับการสวิง จากผู้ทดสอบที่ 2 (CCL).....	62

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.54 ข้อมูลความเร่ง accel:x ที่กล้ามเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง เปรียบเทียบกับการสวิง จากผู้ทดสอบที่ 2 (CCL).....	62
4.55 ข้อมูลความเร่ง accel:y ที่กล้ามเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง เปรียบเทียบกับการสวิง จากผู้ทดสอบที่ 2 (CCL).....	63
4.56 ข้อมูลความเร่ง accel:z ที่กล้ามเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง เปรียบเทียบกับการสวิง จากผู้ทดสอบที่ 2 (CCL).....	63
4.57 ข้อมูลการบิดหมุน yaw ที่กล้ามเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง เปรียบเทียบกับการสวิง จากผู้ทดสอบที่ 2 (CCL).....	64
4.58 ข้อมูลการบิดหมุน roll ที่กล้ามเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง เปรียบเทียบกับการสวิง จากผู้ทดสอบที่ 2 (CCL).....	64
4.59 ข้อมูลการบิดหมุน pitch ที่กล้ามเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง เปรียบเทียบกับการสวิง จากผู้ทดสอบที่ 2 (CCL).....	65
4.60 ข้อมูลความเร่ง accel:x ที่กล้ามเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง เปรียบเทียบกับการสวิง จากผู้ทดสอบที่ 2 (CCL).....	65
4.61 ข้อมูลความเร่ง accel:y ที่กล้ามเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง เปรียบเทียบกับการสวิง จากผู้ทดสอบที่ 2 (CCL).....	66
4.62 ข้อมูลความเร่ง accel:z ที่กล้ามเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง เปรียบเทียบกับการสวิง จากผู้ทดสอบที่ 2 (CCL).....	66

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กอล์ฟเป็นกีฬาที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในทุกเพศทุกวัย ซึ่งกีฬาที่กอล์ฟนั้นมีความน่าสนใจทั้งในด้านการแข่งขัน การออกกำลังกาย และยังเป็นกีฬาที่สามารถทำกิจกรรมอื่นๆ ร่วมกับผู้อื่นขณะเล่นได้อีกด้วย กีฬาที่กอล์ฟประกอบไปด้วยท่าทางการตีที่มีความแตกต่างกัน การสวิงกอล์ฟเป็นหนึ่งในท่าทางการตีที่กอล์ฟที่น่าสนใจ เนื่องจากส่งผลอย่างมากต่อรูปเกมการทำคะแนนและร่างกายผู้เล่น ในแง่ของร่างกายผู้เล่นนั้น การสวิงในแต่ละครั้งจะต้องใช้พลังกำลังของกล้ามเนื้ออย่างมาก และต้องเป็นไปตามขั้นตอนที่ถูกต้องจึงจะได้ประสิทธิภาพการสวิงที่ดี แต่ยังคงพบการสวิงที่ผิดลักษณะ ไม่เป็นไปตามขั้นตอนที่ดี มีการเกร็งและผ่อนกล้ามเนื้อในรูปแบบอันก่อให้เกิดอาการบาดเจ็บในกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ เช่น ข้อศอก หลัง และเอว [1] เป็นต้น

จากการศึกษาการสวิงกอล์ฟทำให้ทราบว่ามีการสวิงที่เหมาะสม ที่ให้ทั้งประสิทธิภาพที่ดี และปลอดภัยต่อตัวผู้เล่นเองด้วย [2] แม้ว่าจะมีการค้นพบลักษณะการสวิงที่ดี แต่ยังคงมีปัญหาในแง่ของการวัดค่าการสวิง คือการวัดค่าแรงและทิศทางที่เคลื่อนไหวไปในขณะที่สวิง ซึ่งปัจจุบันมีการวัดค่าในหลายรูปแบบ เช่น การสังเกตโดยผู้เชี่ยวชาญ การใช้กล้องตรวจจับการเคลื่อนไหวและนำภาพวีดีโอมาประมวลผล [3] เป็นต้น การสังเกตโดยผู้เชี่ยวชาญนั้นยังคงพบปัญหาความไม่ชัดเจนในการวัด เนื่องจากการวัดที่อ้างอิงกับตัวผู้เชี่ยวชาญเฉพาะบุคคล ส่วนการใช้กล้องตรวจจับภาพเคลื่อนไหวเป็นการถ่ายภาพจากหลายๆ มุมมองมาประกอบการประมวลผล มีการแบ่งช่วงเวลาที่ชัดเจน แต่ยังคงพบปัญหาหากกล้ามเนื้อส่วนที่กล้องไม่สามารถตรวจจับได้ในบางลักษณะ อันเกิดจากการสวิงที่มีการหมุนและการบิดบังโดยส่วนอื่นๆ ของร่างกาย

อีกวิธีหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจในการวัดการเคลื่อนไหว คือการใช้เซ็นเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนไหว เป็นเซ็นเซอร์ที่มีลักษณะการใช้งานที่ติดแนบไปกับกล้ามเนื้อส่วนที่ต้องการวัดการเคลื่อนไหว ลักษณะข้อมูลจำแนกไปตามชนิดของเซ็นเซอร์ เช่น เซ็นเซอร์วัดความเร่ง (Accelerometer) เซ็นเซอร์วัดการบิดหมุน (Gyroscope) เซ็นเซอร์วัดสัญญาณไฟฟ้าในกล้ามเนื้อ (Electromyogram) เป็นต้น จากเซ็นเซอร์ดังกล่าว เซ็นเซอร์วัดความเร่งสามารถวัดค่าความเร่งที่เกิดขึ้นในระนาบ 3 มิติได้ในหน่วย g หรือค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลก (m/s^2) เซ็นเซอร์วัดการบิดหมุนสามารถวัดการบิดหมุนที่เกิดขึ้นในหน่วยองศา เซ็นเซอร์วัดสัญญาณไฟฟ้าในกล้ามเนื้อสามารถวัดกระแสไฟฟ้าในกล้ามเนื้อเมื่อมีการออกแรงได้ในหน่วย mV

จากการศึกษาพบว่าการนำเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวมาประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของมนุษย์ เช่นการใช้ข้อมูลความเร่งประยุกต์ใช้กับการตีเทนนิส และใช้อัลกอริทึม ID3

ในการจำแนกรูปแบบการสวิงที่ถูกต้อง รวมถึงให้คำแนะนำลักษณะการตีที่ถูกต้อง [4] หรือการวัดการเอกสการนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคลื่อนไหวต่างๆที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวัน เช่นการเดิน การก้มหยิบของ การขึ้นบันได จากนั้นจึงจำแนกรูปแบบดังกล่าวด้วย Kernel regression (KR) และ Relevance Vector Machine regression (RVM) เพื่อทำนายลักษณะการเคลื่อนไหวที่เกิดขึ้นว่าเป็นการเคลื่อนไหวแบบใด [5] ซึ่งจะเห็นได้ว่าไม่เพียงแต่การวัดค่าการเคลื่อนไหวในลักษณะต่างๆจากเซ็นเซอร์ในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหว วิธีการในการวิเคราะห์ (Algorithm) เป็นสิ่งสำคัญในการจำแนกรูปแบบข้อมูลที่สำคัญที่เป็นลักษณะเฉพาะของการเคลื่อนไหว

จากปัญหาที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นของการวิเคราะห์การสวิงกอล์ฟ เพื่อให้เกิดการเคลื่อนไหวที่ดีทั้งในด้านเกมกีฬาและร่างกายของผู้เล่น จำเป็นต้องมีการฝึกฝนการสวิงกอล์ฟลักษณะที่ถูกต้องอย่างต่อเนื่อง ผู้วิจัยมีความสนใจและทำการศึกษการแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยเลือกเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว Razor IMU ในการแก้ปัญหานี้ โดยใช้ข้อมูลการบิดหมุน และความเร่งในการฝึกฝนการสวิงกอล์ฟประยุกต์ใช้กับวิธีการแบ่งกลุ่มและเปรียบเทียบข้อมูลการเคลื่อนไหวในลักษณะเชิงเส้น Cluster and Compare in Linear form เรียกโดยย่อว่า CCL

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) นำเสนอการฝึกฝนการสวิงกอล์ฟโดยใช้ข้อมูลการบิดหมุน และความเร่งจากอุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนไหว
- 2) แสดงรูปแบบการสวิงกอล์ฟและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างผู้มีประสบการณ์การสวิงกอล์ฟ และผู้เล่นทั่วไป โดยใช้ข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนไหว
- 3) ประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีใหม่ CCL ในการเปรียบเทียบข้อมูลการสวิงกอล์ฟ เพื่อใช้ในการฝึกฝนการสวิงกอล์ฟ

1.3 สมมติฐานของงานวิจัย

- 1) สามารถใช้ข้อมูลการบิดหมุนและความเร่งจากชุดตรวจวัดการสวิงกอล์ฟ ร่วมกับเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว Razor IMU ในการวิเคราะห์ทางการแพทย์และทางการกีฬาได้
- 2) รูปแบบข้อมูลการสวิงกอล์ฟ ที่ได้จากผู้เล่นกีฬาอาชีพแต่ละคนมีรูปแบบการสวิงกอล์ฟเฉพาะของตนเอง
- 3) ขั้นตอนวิธี CCL สามารถเปรียบเทียบข้อมูลการสวิงกอล์ฟ โดยใช้การเปรียบเทียบรูปแบบการสวิงกอล์ฟในแต่ละท่วงท่า ให้ผลลัพธ์ในการเปรียบเทียบที่ดีกว่าการเปรียบเทียบโดยใช้การเทียบข้อมูลในช่วงเวลาที่ตรงกัน โดยเปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธี Cosine Similarity และ Symmetric Mean Absolute Percentage Error (SMAPE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ข้อมูลการสวิงกอล์ฟที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เลือกใช้การสวิงกอล์ฟแบบเต็มแรงจากผู้ทดสอบ 5 ราย โดยที่ผู้ทดสอบเป็นคนไทย มีประสบการณ์การสวิงกอล์ฟ ถนัดแขนขวา วันที่เข้ารับการทดสอบไม่มีอาการบาดเจ็บ และใช้เซ็นเซอร์ Razor IMU 2 ชุด ติดที่บริเวณกล้ามเนื้อหลัง ส่วนบนและส่วนล่างเท่านั้น
- 2) ชุดตรวจจับการเคลื่อนไหวที่ทำงานร่วมกับเซ็นเซอร์ Razor IMU ออกแบบให้มีขนาดที่ปรับได้ 3 ระดับคือขนาด M, L และ XL ใช้งานสำหรับบุคคลที่มีกระดูกสันหลังปกติเท่านั้น
- 3) ใช้ข้อมูลการบิดหมุน และความเร่งจากอุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนไหว Razor IMU ในการทดลอง
- 4) การจัดเก็บข้อมูลการสวิงกอล์ฟอยู่ในความควบคุมของผู้เชี่ยวชาญ ในการกำหนดลักษณะการสวิงที่ถูกต้อง
- 5) เปรียบเทียบข้อมูลการสวิงระหว่างผู้ทดสอบแต่ละรายด้วยขั้นตอนวิธี CCL, Cosine Similarity และ sMAPE
- 6) การเปรียบเทียบข้อมูลการสวิงเป็นไปเพื่อการฝึกฝนการสวิงกอล์ฟ (ไม่มีการให้ความหมายหรือผลลัพธ์ที่ดี หรือร้ายในแง่ของเมคานิกส์และร่างกายผู้ทดสอบ)

1.5 ขั้นตอนการศึกษาและดำเนินงานวิจัย

- 1) ศึกษาและวิเคราะห์รูปแบบการสวิงกอล์ฟที่ถูกต้อง และไม่ถูกต้องอันก่อให้เกิดการบาดเจ็บที่กล้ามเนื้อหลังและเอว
- 2) ศึกษาเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการตรวจจับการเคลื่อนไหว
- 3) ออกแบบวิธีการจัดเก็บข้อมูลการวิจัย
- 4) ติดต่อผู้เชี่ยวชาญทางด้านการถ่ายภาพบำบัด และการถ่ายภาพบำบัดในกีฬากอล์ฟ
- 5) ออกแบบชุดอุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนไหว
- 6) จัดหาอุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนไหว
- 7) พัฒนาโปรแกรมจัดเก็บข้อมูลการสวิงกอล์ฟและชุดอุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนไหว
- 8) ติดต่อผู้ทดสอบการสวิงกอล์ฟ
- 9) เก็บข้อมูลการสวิงกอล์ฟ
- 10) วิเคราะห์ข้อมูลการสวิงกอล์ฟ
- 11) สรุปผลการทดลองพร้อมเสนอแนวทางการพัฒนางานวิจัย
- 12) จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

- 1) ได้ต้นแบบชุดตรวจวัดการสวิงกอล์ฟ ที่ทำงานร่วมกับเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว Razor IMU สามารถวัดข้อมูลการบิดหมุนและความเร่ง เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ทางการแพทย์และทางการกีฬาได้
- 2) ขั้นตอนวิธี CCL สามารถเปรียบเทียบข้อมูลการสวิงกอล์ฟ โดยใช้การเปรียบเทียบรูปแบบการสวิงในแต่ละท่วงท่า ให้ผลลัพธ์ในการเปรียบเทียบที่ดีกว่าการเปรียบเทียบโดยใช้การเทียบข้อมูลในช่วงเวลาที่ตรงกัน โดยเปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธี Cosine Similarity และ Symmetric Mean Absolute Percentage Error (sMAPE)
- 3) สามารถใช้ขั้นตอนวิธี CCL ในการเปรียบเทียบข้อมูลการสวิง เช่นเปรียบเทียบระหว่างผู้เชี่ยวชาญหรือโค้ชผู้ฝึกสอนกับผู้เข้ารับการฝึก หรือใช้ในการพัฒนาการฝึกจากการเปรียบเทียบข้อมูลการสวิงกอล์ฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้นำเสนอเนื้อหาของทฤษฎีและงานที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์การสวิงกอล์ฟ โดยแบ่งออกเป็น 4 ส่วนคือการสวิงกอล์ฟ อาการบาดเจ็บและผลข้างเคียงจากการสวิงกอล์ฟ เช่น เซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว การดำเนินการข้อมูล และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การสวิงกอล์ฟ

การสวิงกอล์ฟ [6] เป็นท่าทางการเคลื่อนไหวหนึ่งของกีฬาที่เล่นด้วยไม้กอล์ฟ ที่มีลำดับการเคลื่อนไหว และการออกแรงในแต่ละจังหวะที่ชัดเจน เป็นพื้นฐานที่ผู้เล่นกอล์ฟจำเป็นต้องฝึกฝนเพื่อผลลัพธ์ทางเกมกีฬาและร่างกายของผู้เล่น มีรายละเอียดดังนี้

2.1.1 ความสำคัญของการสวิงกอล์ฟ

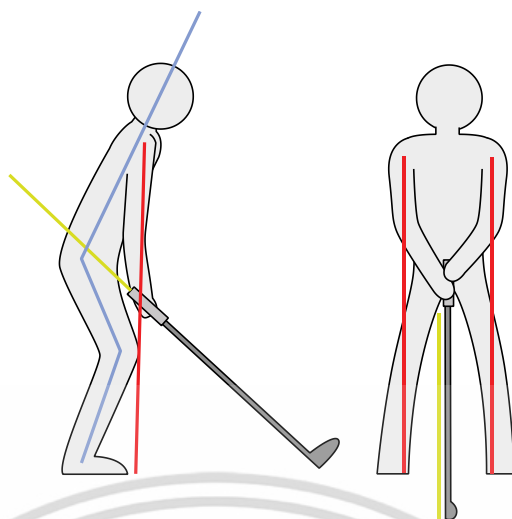
การเล่นกอล์ฟให้ดีขึ้น ผู้เล่นจำเป็นต้องศึกษาและวิเคราะห์หัวสวิงให้ถูกต้องตามทฤษฎีพื้นฐานกอล์ฟ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตี ส่งผลให้ผู้เล่นมีพัฒนาการสูงสุด และลดอาการบาดเจ็บที่เกิดจากการยืนที่ผิดรูปแบบ

2.1.2 ขั้นตอนของการสวิงกอล์ฟ

เป็นลำดับของการเคลื่อนไหวที่เกิดขึ้นในท่าทางต่างๆขณะสวิงกอล์ฟ โดยจะแบ่งเป็น 8 ขั้นตอนด้วยกันดังนี้

2.1.2.1 ท่าการยืน (Setup)

ท่าการยืนในการตีกอล์ฟมีความสำคัญมาก เป็นพื้นฐานที่นักกอล์ฟควรทำให้ถูกต้อง เพราะจะมีผลต่อสวิง ท่ายืนที่ดีจะทำให้ควบคุมแกนและถ่ายน้ำหนักได้ดี ส่งผลถึงประสิทธิภาพของสวิง เริ่มจากจุดกลางสุดของร่างกาย เท้าควรยืนห่างกันประมาณความกว้างของหัวไหล่ (ตีด้วยเหล็กกลาง) ไม่แคบหรือกว้างเกินไป และแนวของเท้าทั้งสองข้างควรจะขนานกับแนวของเป้าหมาย แนวของการวางเท้ามี 3 ลักษณะคือ ยืนเป็นแนวตรง (Square) เป็นการยืนที่แนวของเท้าทั้งสองจะขนานกับแนวของเป้าหมาย ยืนปิด (Closed) เป็นการยืนที่เท้าซ้ายจะอยู่สูงกว่าเท้าขวา แนวของเท้าทั้งสองจะชี้ไปทางขวาของเป้าหมายส่งผลให้วิถีของลูกจะพุ่งจากขวาไปซ้าย และยืนเปิด (Open) เป็นการยืนที่เท้าซ้ายจะอยู่ต่ำกว่าเท้าขวา แนวของเท้าทั้งสองจะชี้ไปทางซ้ายของเป้าหมาย ส่งผลให้วิถีของลูกจะพุ่งจากซ้ายไปขวา ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 วิธีการยืนสวิงกอล์ฟ

2.1.2.2 การลากไม้ (Back Swing-Takeaway)

การลากไม้เป็นขั้นตอนที่สองของการสวิงกอล์ฟ ควรกระทำอย่างราบเรียบ ไม่กระชาก เคลื่อนไหวเฉพาะหัวไหล่และแขนซ้าย ค่อยๆ หมุนหัวไหล่ซ้ายและแขนซ้ายลอดใต้คาง โดยที่สายต่ายังคงมองอยู่ที่ลูกกอล์ฟ ดังรูปที่ 2.2

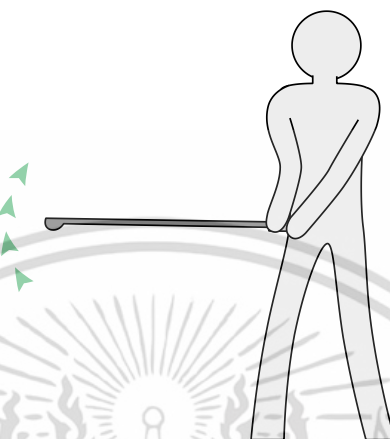


รูปที่ 2.2 วิธีการลากไม้กอล์ฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.3 ครึ่งวงสวิง (Half Swing)

เป็นตำแหน่งที่ไม้กอล์ฟถูกยกขึ้นมาจนก้านไม้ขนานกับพื้น ปลายของกริพที่ผู้เล่นเอามือจับอยู่จะชี้ไปที่เป้าหมาย ไม้จะไม่จะปิดเล็กน้อย หน้าและศีรษะนิ่ง สายตายังมองอยู่ที่ลูกกอล์ฟตลอดเวลา การถ่ายน้ำหนักจะถ่ายมาสู่ขาขวาประมาณ 70% ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ตำแหน่งครึ่งวงสวิง

2.1.2.4 ตำแหน่งสูงสุดของวงสวิง (Top Swing)

ตำแหน่งสูงสุดของวงสวิงถือเป็นจุดที่สำคัญจุดหนึ่งของวงสวิง เพราะเป็นจุดในการสะสมพลังงาน และกลไกในการส่งถ่ายพลังงานทั้งหมดเข้าสู่การปะทะลูก ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ตำแหน่งสูงสุดของวงสวิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.5 การเริ่มเข้าตีลูก (Down Swing)

เป็นจุดที่เริ่มลดไม้ลงมาเพื่อเริ่มการถ่ายทอดพลังงานเข้าสู่การปะทะลูก ลำดับการทำงานในขั้นตอนนี้อันดับแรกเลยก็คือ ต้องเปิดสะโพกซ้ายให้เริ่มหมุนไปด้านหลังก่อน เสมือนเป็นการเปิดประตูต้อนรับพลังงานทั้งหลายเข้าสู่การปะทะลูกกอล์ฟ แล้วขบวนการของการถ่ายน้ำหนักจากซีกขวาไปยังซีกซ้ายจึงจะเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์

อีกจุดที่ต้องให้ความสำคัญเช่นกันคือจุดของการหักข้อมือ ในตำแหน่งสูงสุดของวงสวิง เมื่อเริ่มการเข้าตีลูกลงมา จะต้องรักษามุมนั้นไว้ ไม่รีบคลายออกในทันที วิธีรักษามุมของข้อมือนี้ไว้คือเวลาเริ่มเข้าตีลูกลงมา ให้มีความรู้สึกว่ายปลายสั้นของกริฟเป็นตัวนำลงมาก่อน

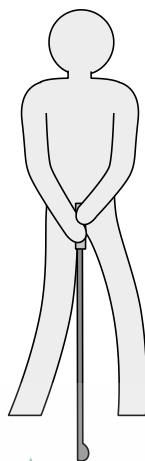
ผู้เล่นจะเริ่มคลายมุมของข้อมือก่อนเข้าปะทะลูก เมื่อตำแหน่งของมือลดลงมาก่อนถึงลูกกอล์ฟ 3-4 ฟุตเท่านั้น แล้วจึงค่อยสะบัดพลิกข้อมือเขยิบเข้าไปที่ลูกกอล์ฟ หรือทางภาษากอล์ฟจะเรียกว่า “Snap” ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การเริ่มเข้าตีลูก

2.1.2.6 จุดที่หน้าไม้ปะทะลูก (Impact)

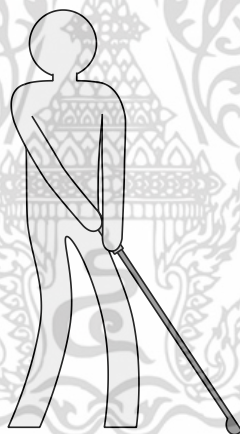
ตำแหน่งจุดตีลูกเป็นจุดที่เกิดการปะทะกันระหว่างหน้าไม้กับลูกกอล์ฟ ซึ่งจะเกิดแรงกระแทกที่สัมผัสได้อย่างชัดเจน การตีลูกที่ดีควรถูกกลางหน้าไม้ แรงและพลังงานจะถูกถ่ายทอดไปยังลูกกอล์ฟได้เต็มที่ ถ้าหากสวิงไม่ดีจะเกิดบาดเจ็บได้ ตำแหน่งการตีลูกกอล์ฟดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ตำแหน่งการตีลูกกอล์ฟ

2.1.2.7 การส่งถ่ายพลัง (Follow Through)

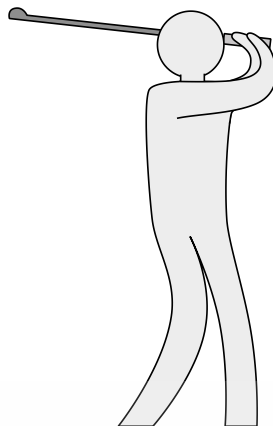
การส่งถ่ายพลังเป็นจุดที่ส่งพลังให้ลูกกอล์ฟไปได้ระยะไกล และตรงตามความต้องการ จึงมีความสำคัญมากอีกจุดหนึ่ง เพราะส่วนใหญ่นักกอล์ฟสมัครเล่นจำนวนมากทำจุดนี้ได้ไม่ดี ไม่ได้ระยะ และวิถีของลูกกอล์ฟส่วนมากจะเลี้ยวขวาออกไปจากเป้าหมาย ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 วิธีการถ่ายพลัง

2.1.2.8 ท่าจบของวงสวิง (Finish)

ท่าจบวงสวิงเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการสวิงกอล์ฟ เป็นจุดที่สามารถบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของสวิงในการตีครั้งนั้นได้เป็นอย่างดี ถ้าผู้เล่นสามารถจบสวิงได้ดี ยืนได้อย่างมั่นคง รักษาสมดุลได้จึงสรุปได้ว่าการตีครั้งนั้นเป็นการตีที่ดี ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ท่าจบวงสวิงกอล์ฟ

2.2 เซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว

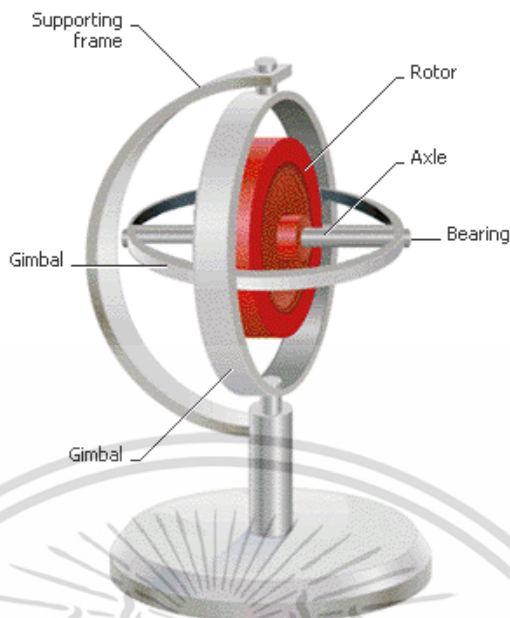
เซ็นเซอร์ที่ใช้ในการตรวจจับการเคลื่อนไหวนั้น ประกอบไปด้วย 3 ส่วนคือ Razor IMU Bluetooth Mate Gold และ Polymer Lithium Ion Battery มีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 Razor IMU

Razor IMU [7] มีชื่อเต็มว่า 9 Degrees of Freedom - Razor IMU เป็นเซ็นเซอร์ที่ผลิตขึ้นจากบริษัท Spark fun เป็นอุปกรณ์สำหรับตรวจจับการเคลื่อนไหวที่เกิดขึ้นกับ Razor IMU ภายในประกอบไปด้วยชิปเซต 3 ส่วนด้วยกันคือ ITG-3200 (MEMS Triple-Axis Gyro), ADXL345 (Triple-Axis Accelerometer) และ HMC5883L (Triple-Axis Magnetometer) ซึ่งแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้

2.2.1.1 ITG-3200 (MEMS Triple-Axis Gyro)

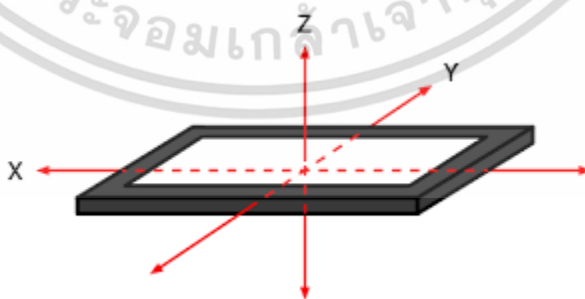
ITG-3200 [8] เป็นเซ็นเซอร์ชนิดหนึ่งของไจโรสโคป (Gyroscope) เป็นอุปกรณ์ที่ถูกออกแบบและพัฒนาสำหรับวัดการเอียงหรือการหมุนของวัตถุ [9] โดยอาศัยแรงเฉื่อยเสมือนล้อหมุน เพื่อช่วยรักษาระดับทิศทางของแกนหมุนให้อยู่ในกรอบ ทำให้เอียงในทิศทางต่างๆ ได้โดยอิสระ ซึ่งสามารถหมุนในแกนใดๆได้ โมเมนต์เฉื่อยของไจโรสโคปดังกล่าวทำให้สามารถรักษาตำแหน่งได้แม้กรอบล้อจะเอียง จากคุณสมบัติดังกล่าวทำให้สามารถนำหลักการนี้ไปประยุกต์ใช้เพื่อประโยชน์อย่างมากมาย เช่น เซ็มทิศ นักบินอัตโนมัติของเครื่องบิน เรือ กลไกบังคับทางเสือของตอร์ปิโด อุปกรณ์ป้องกันการกลิ้งบนเรือใหญ่ และระบบนำร่องเฉื่อย (Inertial Guidance) มีลักษณะการทำงานดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 กล้อเสมือนการทำงานของไจโรสโคป (Gyroscope)

2.2.1.2 ADXL345 (Triple-Axis Accelerometer)

ADXL345 [10] เป็นเซ็นเซอร์ชนิดหนึ่งของแอชเชลเรโรมิเตอร์ (Accelerometer) เป็นมิเตอร์ความเร่ง [11] ตามนิยามคือเซ็นเซอร์วัดความเร่งเพิ่มขึ้น หรือลดลง (ในหน่วย m/s^2) ถูกประยุกต์ใช้งานในหลากหลายรูปแบบ เช่น การเขย่าเพื่อเปลี่ยนเพลง หรือการเขย่าตัวเครื่องเพื่อใช้ในการควบคุมการเล่นเกม เป็นต้น ประโยชน์ที่ได้จากแอชเชลเรโรมิเตอร์ ที่นอกเหนือจากความสะดวกในการใช้งาน คือการที่เกมหลายๆประเภท ให้ความสมจริงในการควบคุมที่ดีขึ้น ไม่ว่าจะเป็นเกมขับรถที่สามารถเอียงซ้ายขวา เสมือนเป็นพวงมาลัยในการควบคุม เอียงออกจากตัวเอียงเข้าหาตัว เสมือนการเร่ง หรือเบรก หรือเกมที่ต้องอาศัยการหมุนทิศทางต่างๆ ลักษณะการวัดค่าของแอชเชลเรโรมิเตอร์ดังรูปที่ 2.10

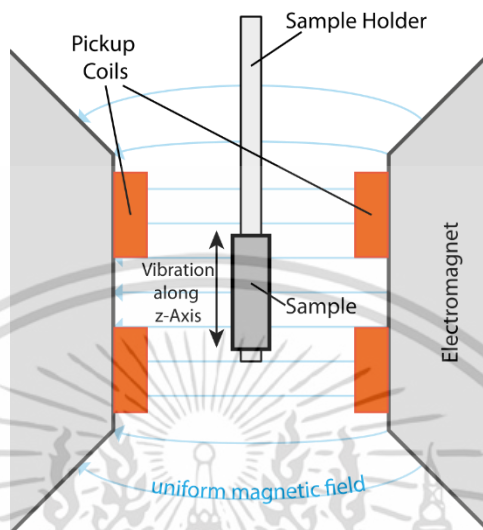


รูปที่ 2.10 ลักษณะการวัดค่าของแอชเชลเรโรมิเตอร์ (Accelerometer)

2.2.1.3 HMC5883L (Triple-Axis Magnetometer)

HMC5883L [12] เป็นเซ็นเซอร์ชนิดหนึ่งของแมกนีโทมิเตอร์ (Magnetometer) เอกสารนี้เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับตรวจวัดค่าความเข้มของสนามแม่เหล็ก [13] และตรวจหาสนามแม่เหล็กของไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริเวณที่ต้องการ ใช้สำหรับการสำรวจทางภาคพื้นดินเพื่อใช้วัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กในแนวตั้ง บางครั้งใช้วัดความเข้มของสนามแม่เหล็กแนวราบ ซึ่งใช้ในการสำรวจทางอากาศ มีการทำงานดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การทำงานของแมกนีโทมิเตอร์ (Magnetometer)

2.2.2 Bluetooth Mate Gold

Bluetooth Mate Gold [14] เป็นเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการรับหรือส่งข้อมูลผ่านสัญญาณบลูทูธ (Bluetooth) ระบบสื่อสารของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบสองทางด้วยคลื่นวิทยุระยะสั้น (Short-Range Radio Links) โดยไร้สายเคเบิลหรือสายสัญญาณที่ใช้สำหรับเชื่อมต่อ [15] ไม่จำเป็นต้องใช้การเดินทางแบบเส้นตรงเหมือนกับอินฟราเรด ซึ่งเป็นการเพิ่มความสะดวกมากกว่าการเชื่อมต่อแบบอินฟราเรด ที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างโทรศัพท์มือถือ กับอุปกรณ์ในโทรศัพท์เคลื่อนที่รุ่นก่อนๆ และในการวิจัย โดยคำว่า “บลูทูธ” มาจากพระนามของพระมหากษัตริย์เดนมาร์ก คือ Harald Bluetooth เป็นกษัตริย์ในช่วงปี ค.ศ. 940-981 หรือประมาณ 1,000 กว่าปีมาแล้ว การตั้งชื่อนี้เป็นการรำลึกถึงพระราชกรณียกิจของพระมหากษัตริย์ Harald Bluetooth ผู้ปกครองประเทศกลุ่มสแกนดิเนเวีย ซึ่งปัจจุบันเป็นกลุ่มประเทศผู้นำในการผลิตโทรศัพท์มือถือป้อนสู่ตลาดโลก และระบบบลูทูธได้เริ่มต้นในกลุ่มประเทศนี้

Bluetooth Mate Gold เป็นแผงวงจรที่ผลิตโดยบริษัท Spark Fun Electronics โดยใช้ชื่อว่า บลูทูธเมทโกลด์ (Bluetooth Mate Gold) ทำหน้าที่ส่งข้อมูลที่รับจากเซ็นเซอร์ ผ่านสัญญาณบลูทูธบนมาตรฐาน 802.11g ด้วยความถี่ 2.4~2.524 GHz รองรับการส่งข้อมูล 2400-115200 bps สามารถทำงานบนสภาพแวดล้อมที่อุณหภูมิ -40 ~ +70C โดยใช้ไฟฟ้าขนาด 3.3V-6V เพื่อทำงาน ตัวส่งสัญญาณบลูทูธนี้มีขนาด 1.75x0.65 นิ้ว มีรูปตัวส่งสัญญาณบลูทูธดังรูปที่ 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 ตัวส่งสัญญาณบลูทูธ รุ่นบลูทูธเมทโกลด์ (Bluetooth Mate Gold)

2.2.3 Polymer Lithium Ion Battery

Polymer Lithium Ion Battery [16] เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เป็นพลังงานหลักสำหรับตัวรับสัญญาณบลูทูธและเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว โดยใช้แบตเตอรี่รุ่นพอลิเมอร์ ลิเทียมไอออน แบตเตอรี่ (Polymer Lithium Ion Battery) สามารถจ่ายไฟที่มีขนาด มี 3.7V ความจุแบตเตอรี่อยู่ที่ 1000 mAh ขนาดของแบตเตอรี่อยู่ที่ 2.00x1.32 x 0.23 นิ้ว ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แบตเตอรี่รุ่นพอลิเมอร์ ลิเทียมไอออน (Polymer Lithium Ion Battery)

2.3 การดำเนินการข้อมูล

เป็นการนำข้อมูลการเคลื่อนไหวที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนไหวต่างๆมาประมวลผล ด้วยหลากหลายวิธีเพื่อให้อยู่ในรูปแบบที่ต้องการ มีรายละเอียดดังนี้

2.3.1 ความคลาดเคลื่อน (Errors)

การวัดทุกรูปแบบจะมีความคลาดเคลื่อนหรือความไม่แน่นอนเกิดขึ้นเสมอ การทดลองที่ได้ผลสมบูรณ์ต้องเริ่มด้วยการได้ข้อมูลที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นจากสาเหตุดังนี้ [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.1 ความคลาดเคลื่อนเชิงบุคคล (Personal Errors)

เป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากความบกพร่องของผู้วัดหรือผู้ทดลอง ซึ่งสามารถลดความคลาดเคลื่อนชนิดนี้ได้ถ้าผู้ทดลองใช้ความระมัดระวังในการอ่านข้อมูลจากเครื่องมือวัด พร้อมทั้งระมัดระวังหน่วยของปริมาณที่วัด นอกจากนี้ต้องบันทึกข้อมูลให้มีระเบียบแบบแผน มีรายละเอียดที่สามารถสื่อความหมายของข้อมูลดิบ จนสามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์หรือคำนวณหาคำตอบได้โดยไม่ผิดพลาด การแก้ไขทำได้โดยพัฒนานิสัยผู้วัดให้นิสัยมีความละเอียด สุขุม และรอบคอบ

2.3.1.2 ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ (Systematic Errors)

เป็นความคลาดเคลื่อนเกิดจากเครื่องมือที่ใช้ทดลอง สามารถลดให้น้อยลงได้โดยใช้เครื่องมือที่มีคุณภาพ ความคลาดเคลื่อนชนิดนี้เกิดขึ้นเสมอไม่ขึ้นกับผู้ทดลอง ผู้ทดลองจึงต้องเลือกอุปกรณ์ หรือเครื่องมือทดลองให้เหมาะสม โดยมีสิ่งควรคำนึงถึงดังนี้

- 1) ความแม่นยำ (Precision) หมายถึงเครื่องมือที่วัดได้ค่าเดิมแม้ว่าจะวัดหลายๆ ครั้ง
- 2) ความถูกต้อง (Accuracy) หมายถึงเครื่องมือที่วัดได้ค่าเท่ากับค่ามาตรฐาน หรือใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน
- 3) ความไว (Sensitivity) หมายถึงเครื่องมือที่วัดค่าได้ แม้ว่าสิ่งนั้นหรือ ปริมาณฟิสิกส์ปริมาณนั้นจะมีค่าน้อยมาก

2.3.1.3 ความคลาดเคลื่อนเชิงสถิติ (Statistical Errors)

ความคลาดเคลื่อนเชิงสถิติหรือความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม (Random Errors) เป็นความคลาดเคลื่อนในลักษณะที่ข้อมูลหรือตัวเลขที่วัดได้ มีค่าต่างๆ กันกระจายออกไปจากค่าตัวเลขที่เป็นไปได้มากที่สุดค่าหนึ่ง ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของข้อมูลตัวเลขนั้น ความคลาดเคลื่อนชนิดนี้เป็นความคลาดเคลื่อนที่ไม่สามารถกำหนดหรือคาดคะเนได้แม้จะพยายามและระมัดระวังอย่างดีที่สุดแล้วก็ตาม เช่น การอ่านข้อมูลตัวเลขจากเครื่องมือวัดที่ต้องอาศัยการประมาณค่าในหลักสุดท้ายของสเกลมีขนาดไม่เท่ากันและมีการกระจายแบบสุ่ม (Random Distribution) หมายความว่าพยายามวัดหลายๆ ครั้ง จะพบว่าตัวเลขการวัดแต่ละครั้งจะไม่เท่ากัน แต่ตัวเลขที่วัดได้มีแนวโน้มจะเท่าหรือใกล้เคียงค่าๆหนึ่ง ซึ่งค่าๆนี้หาได้โดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติ (Statistical Analysis) ยังมีความคลาดเคลื่อนเชิงสถิติอีกแบบหนึ่งซึ่งเป็นธรรมชาติของปรากฏการณ์นั้นๆ มีสาเหตุจากสภาวะของตัวแปรภายนอก เช่น อุณหภูมิ ความดัน ฯลฯ หรือตัวแปรภายในที่ไม่สามารถควบคุมได้ ความคลาดเคลื่อนแบบนี้มีลักษณะสุ่มเหมือนการเคลื่อนที่แบบแบรก เช่น การสลายตัวของสารกัมมันตรังสี อัตราการสลายตัวหรือปริมาณรังสีที่แผ่ออกมาต่อหน่วยเวลาจะมีค่าไม่เท่ากัน แม้จะวัดในช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกันก็ตาม ความแตกต่างที่วัดได้จะมีลักษณะสุ่มซึ่งเป็นธรรมชาติของการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี การหาค่าที่แท้จริงต้องวัดหลายๆ ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยหรือใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงสถิติซึ่งจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีรายละเอียดในหัวข้อการวิเคราะห์เชิงสถิติ ซึ่งจะกล่าวต่อไป ดังนั้นเพื่อให้ผลการทดลองมีความถูกต้องแม่นยำมากที่สุดที่เป็นไปได้ จึงควรปฏิบัติดังนี้

- 1) ฝึกทักษะการวัด เรียนรู้การวัด การบันทึกข้อมูล และเรียนรู้หลักการเลือกใช้เครื่องมือวัดที่เหมาะสมกับปริมาณที่ต้องการวัด เพื่อลดความคลาดเคลื่อนเชิงบุคคลให้น้อยมากที่สุด
- 2) พยายามเลือกใช้เครื่องมือที่มีมาตรฐาน มีการปรับแต่งสม่ำเสมอ และรู้ขีดจำกัดการวัดของเครื่องมือแต่ละชิ้น เพื่อลดความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ ซึ่งโดยปกติเครื่องมือวัดแต่ละเครื่องจะระบุความละเอียดมากที่สุดเท่าที่จะวัดได้ในรูปของความผิดพลาดหรือความคลาดเคลื่อนเป็นเปอร์เซ็นต์
- 3) ต้องวัดซ้ำหลายๆ ครั้ง ซึ่งตัวเลขที่วัดได้ควรจะมีการกระจายแบบสุ่มหรือมีแนวโน้มจะเท่ากับหรือใกล้เคียงกับค่าๆหนึ่ง จากนั้นใช้การวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาค่าๆนี้ เพื่อใช้เป็นค่าสุดท้าย

2.3.1.4 การถ่ายทอดความคลาดเคลื่อน (Propagation of Errors)

เมื่อจะคำนวณข้อมูลหรือตัวเลขหรือปริมาณฟิสิกส์ที่มีความคลาดเคลื่อนอยู่ด้วย จะใช้วิธีการทำนองเดียวกับการคำนวณเลขนัยสำคัญ ความคลาดเคลื่อนของคำตอบจะคำนวณได้จากหลักแคลคูลัสหลายตัวแปร

2.3.2 การหาค่าความคลาดเคลื่อน

คือการวัดความแตกต่างกันระหว่างค่าแท้จริงกับค่าที่ได้จากการประมาณในข้อมูลบางชนิด ค่าคลาดเคลื่อนการประมาณอาจเกิดขึ้นจากการวัดของข้อมูลไม่เที่ยงตรง อันเนื่องมาจากเครื่องมือที่ใช้วัด หรือค่าประมาณถูกใช้แทนค่าแท้จริง [18] จากสมการที่ (2.1) ถึงสมการที่ (2.6) มีค่าที่ใช้ในการคำนวณดังนี้

$$\begin{aligned}
 t &= \text{ลำดับใดๆของข้อมูล} \\
 n &= \text{จำนวนของชุดข้อมูล} \\
 A_t &= \text{ข้อมูลที่วัดได้} \\
 F_t &= \text{ค่าประมาณการจากกลุ่มข้อมูลที่แบ่งได้}
 \end{aligned}$$

การวัดค่าคลาดเคลื่อนแบ่งออกเป็น 5 แบบคือ

2.3.2.1 Mean Error (ME)

เป็นวิธีการหาความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยชนิดหนึ่ง ดังสมการที่ (2.1)

$$ME = \frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)}{n} \quad (2.1)$$

วิธีการนี้มีปัญหาในด้านของการนำค่าที่เป็น 0 มารวม รวมถึงการนำค่าที่เป็นลบ

มาคำนวณเข้าด้วยกัน ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.2 Mean Absolute Error (MAE)

เป็นวิธีการหาความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ได้แก้ปัญหของ ME โดยการเพิ่ม Absolute เพื่อลดการหักล้างที่เกิดขึ้นกับข้อมูลที่คำนวณได้ ดังสมการที่ (2.2)

$$MAE = \frac{\sum_{t=1}^n |At - Ft|}{n} \quad (2.2)$$

2.3.2.3 Mean Squared Error (MSE)

เป็นวิธีการหาความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่พัฒนาเพิ่มเติมจาก MAE โดยการยกกำลัง 2 ของค่าที่คำนวณได้ ดังสมการที่ (2.3)

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^n (At - Ft)^2}{n} \quad (2.3)$$

2.3.2.4 Mean Percentage Error (MPE)

เป็นวิธีการหาร้อยละของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย แต่ยังคงพบปัญหาเช่นเดียวกับ ME ดังสมการที่ (2.4)

$$MPE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{(At - Ft)}{At} \times 100}{n} \quad (2.4)$$

2.3.2.5 Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

เป็นวิธีการหาร้อยละของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยแบบแอฟโซลูท เป็นวิธีที่แก้ปัญหความคลาดเคลื่อนจากวิธี MPE ดังสมการที่ (2.5)

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{|At - Ft|}{At} \times 100}{n} \quad (2.5)$$

2.3.2.6 Symmetric Mean Absolute Percentage Error (SMAPE or sMAPE)

เป็นวิธีการหาร้อยละของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยแบบแอฟโซลูท มีพื้นฐานมาจากวิธี MPE แต่ได้มีการแก้ไขปัญหาการหารด้วย 0 ดังสมการที่ (2.6)

$$sMAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{|At - Ft|}{(|At| + |Ft|) / 2} \times 100}{n} \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.7 Cosine Similarity

เป็นวิธีการหาความคล้ายคลึงแบบโคไซน์ (Cosine Similarity) [19] ซึ่งเป็นวิธีการหาความคล้ายคลึงกันจากค่าความแตกต่างของมุมของข้อมูล 2 ชุดที่เกิดขึ้นบนพื้นที่เวกเตอร์ (Vector Space) วิธีการนี้เป็นที่นิยมและมีประสิทธิภาพสูงในการวัดความคล้ายคลึงระหว่างข้อมูล 2 ชุด และถูกนำมาประยุกต์ใช้กับศาสตร์การค้นคืนสารสนเทศอย่างแพร่หลาย วิธีการนี้จะมีประสิทธิภาพในกรณีที่เอกสาร 2 เอกสารมีความยาวไม่เท่ากัน หรือทำให้มีความยุติธรรมต่อเอกสารที่สั้นกว่า มีสูตรการคำนวณดังสมการที่ (2.7)

$$\text{sim}(d, q) = \frac{\sum_{i=1}^n d_i \times q_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n d_i^2 \times \sum_{i=1}^n q_i^2}} \quad (2.7)$$

โดยที่ d = ชุดข้อมูลหรือเอกสารต่างๆใน Collection
 q = query หรือข้อมูลที่ต้องการตรวจสอบความเหมือน

2.3.3 การเตรียมข้อมูล (Data Preprocessing)

การเตรียมข้อมูล เป็นการกระทำกับข้อมูลต่างๆที่ได้จากการสังเกต หรือการวัด [20] เพื่อลดความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากสาเหตุต่างๆดังหัวข้อ 2.3.1 ซึ่งก่อให้เกิดข้อมูลไม่สมบูรณ์ (Incomplete Data) ข้อมูลรบกวน (Noisy Data) หรือข้อมูลไม่สอดคล้อง (Inconsistent Data) ดังนั้น เพื่อให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมก่อนการนำไปคำนวณเพื่อวิเคราะห์ ให้ความหมาย หรือการทำเหมืองข้อมูล จึงต้องมีการปรับข้อมูลก่อนดังนี้

2.3.3.1 การทำความสะอาดข้อมูล (Data Cleaning)

เป็นการทำความสะอาดข้อมูล เนื่องจากข้อมูลจากการสังเกต หรือการวัดไม่สมบูรณ์ หรืออาจมีค่าที่ขาดหายไป (Missing Value) ดังนั้นจึงควรปรับข้อมูลให้มีความถูกต้องมากขึ้น มีการจัดการที่สำคัญดังนี้

- 1) Data Missing การจัดการข้อมูลขาดหาย
- 2) Noisy Data การจัดการข้อมูลที่มีความแปรปรวน หรือผิดพลาด ดังนี้
 - Binning แบ่งกลุ่มข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมด้วยค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่ม ความถี่หรือการเรียงลำดับ
 - Regression ปรับค่าให้อยู่ในรูปแบบของฟังก์ชันเช่นสมการเชิงเส้น
 - Clustering การแบ่งกลุ่มข้อมูลตามเงื่อนไขหรือมุมมองต้องการ
 - Combined computer and human inspection การตรวจสอบข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์และการสังเกตจากมนุษย์ร่วมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3.2 การรวมกันของข้อมูล (Data Integration)

เป็นการรวบรวมข้อมูลจากหลายฐานข้อมูล หลายมุมมอง หรือหลายเอกสารเข้าด้วยกัน เพื่อช่วยลดหรือหลีกเลี่ยงความซ้ำซ้อนของข้อมูล (Data Redundancies) ซึ่งจะนำไปสู่ปัญหาความไม่สอดคล้องกันของข้อมูล (Data Inconsistencies)

2.3.3.3 การปรับเปลี่ยนรูปแบบข้อมูล (Data Transformation)

เป็นการปรับค่าให้อยู่ในรูปแบบสั้น (Normalization) เพื่อการนำไปทำเหมืองข้อมูลได้ วิธีการดังนี้

- 1) Min-Max Normalization เป็นการแปลงข้อมูลเชิงเส้นจากช่วงที่เป็นไปได้เดิมของค่าเริ่มต้น ให้เป็นช่วงใหม่ที่กำหนด (ปรกติอยู่ในช่วง 0-1)
- 2) Decimal Scaling การแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปของเลขทศนิยม
- 3) Z-Score เป็นการปรับการกระจายของข้อมูลให้มีค่าเท่ากับ 0 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1

2.3.3.4 การลดรูปข้อมูล (Data Reduction)

เป็นการลดรูปข้อมูลเพื่อแทนข้อมูลด้วยรูปแบบที่เหมาะสม ขนาดของข้อมูลที่เล็กลงแต่สามารถนำไปใช้วิเคราะห์แล้วเกิดผลลัพธ์ที่เท่ากันหรือเทียบเท่ากับการวิเคราะห์จากข้อมูลทั้งหมด แบ่งเป็น

- 1) Data Cube Aggregation เป็นการลดรูปข้อมูลที่มีกบพใน Data Cube ซึ่งเป็นแบบจำลองข้อมูลหลายมิติ (Multidimensional Data Model)
- 2) Dimensionality Reduction การลดรูปข้อมูลในเฉพาะบางมิติ ให้เหลือเฉพาะที่ต้องการ
- 3) Numerosity Reduction การลดรูปข้อมูลโดยการเลือกข้อมูลขนาดเล็ก
 - Parametric Methods การสร้างแบบจำลองด้วยวิธีความถดถอยซึ่งใช้เทคนิคทางสถิติในการประมาณค่าตัวแปรตาม
 - Non-Parametric Methods วิธีการนี้ไม่ได้สร้างแบบจำลองข้อมูล แต่จะใช้เครื่องมือเช่นแผนภาพฮิสโตแกรม (Histogram) หรือวิธีจัดกลุ่ม (Clustering) แสดงการกระจายของข้อมูล และเก็บค่าตัวแทนกลุ่มแทนค่าข้อมูลจริง หรืออาจใช้วิธีทางสถิติเช่นการสุ่มตัวอย่าง (Sampling)
- 4) Discretization and Concept Hierarchy Generation เป็นวิธีการลดรูปข้อมูลแบ่งช่วงหรือแบ่งกลุ่มเพื่อใช้ในการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 การสวิตช์กอล์ฟ

การสวิตช์กอล์ฟเป็นอิริยาบถหนึ่งของกีฬากอล์ฟ การสวิตช์ กอล์ฟประกอบด้วย 8 ขั้นตอน จากการศึกษาพบว่าปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการเล่นกอล์ฟที่ถูกลักษณะคือท่าเริ่มต้นการเล่น การบิดหมุนของร่างกาย ลำดับการออกกำลัง การทำงานของมือและข้อมือ และคุณสมบัติของไม้ [2] การสวิตช์ที่ถูกลักษณะช่วยให้การเล่นมีประสิทธิภาพและลดอาการบาดเจ็บจากการออกแรงที่ผิดจังหวะ

2.4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ตรวจวัดการเคลื่อนไหว

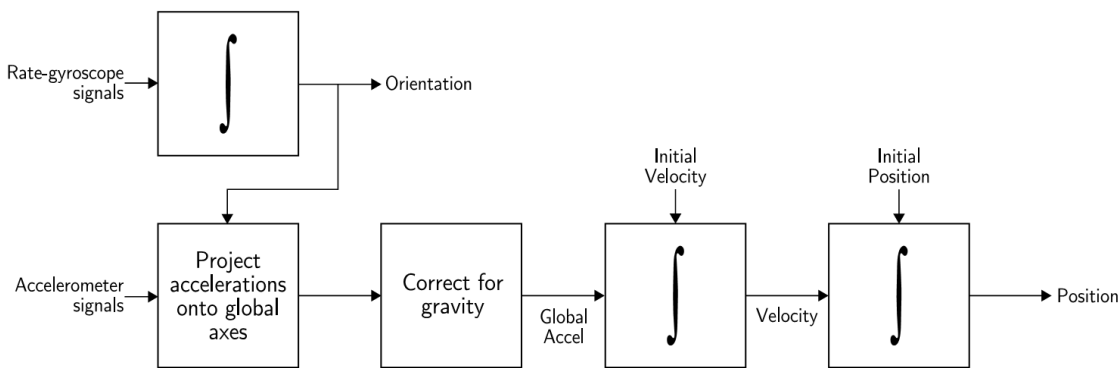
จากการศึกษาการวัดการเคลื่อนไหว แบ่งเป็น 2 รูปแบบคือการใช้กล้องจับภาพเคลื่อนไหวขณะสวิง (Video Camera) เช่น 12 high-speed VICON8i [21] เป็นกล้องที่มีความเร็วในการถ่ายภาพวิดีโอสูง Pointgrey Firefly FMVU-03MTC [3] เป็นกล้องอินฟราเรดใช้สำหรับตรวจจับการเคลื่อนไหวเฉพาะจุด โดยการนำตัวส่งสัญญาณอินฟราเรดติดตั้งจุดที่ต้องการ การวัดการเคลื่อนไหวอีกรูปแบบคือการใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว (Motion Sensor) ติดเข้ากับส่วนที่ต้องการวัด เช่น WAA-010 [22] เป็นเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวที่ประกอบด้วยเซ็นเซอร์วัดความเร่ง (3D acceleration) สามารถวัดค่าความเร่งเทียบกับค่า g (ค่าความเร่งโน้มถ่วงมาตรฐานของโลก) ในระนาบ 3 มิติ (x , y และ z) และเซ็นเซอร์วัดการบิดหมุน (3D gyroscope) สามารถวัดการบิดหมุนรอบตัวของเซ็นเซอร์เอง ในลักษณะรอบแกน x , y และ z (pitch, roll และ yaw) อยู่ในช่วง ± 180 องศา

2.4.3 การดำเนินการข้อมูล

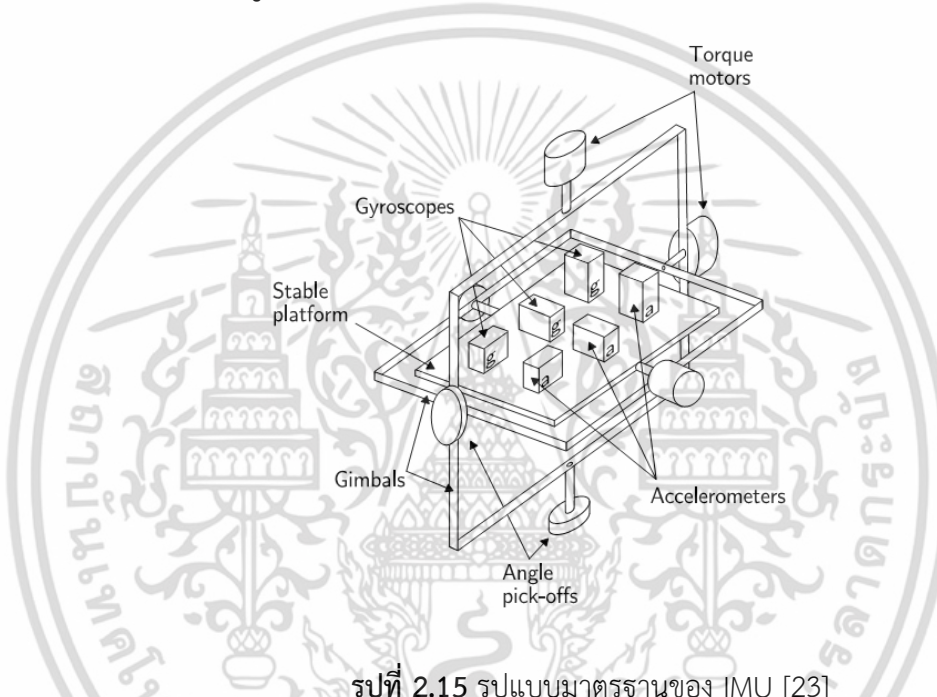
เป็นการนำข้อมูลมาดำเนินการเพื่อค้นหาปัจจัยสำคัญเพื่อสรุปผล ปรับเปลี่ยนหรือแบ่งกลุ่มให้อยู่ในรูปแบบใหม่เพื่อการวิเคราะห์ วิธีการที่มีความเหมาะสมแก่การนำมาประยุกต์มีดังนี้

2.4.3.1 Inertial Navigation System

Inertial Navigation System หรือ INS [23] เป็นวิธีการที่ถูกคิดค้นสำหรับเซ็นเซอร์วัดความเร็วและการหมุน (Accelerometers และ Gyroscope) เพื่อคำนวณทิศทางและความเร็วของเซ็นเซอร์ในระนาบ 3 มิติ (แกน x แกน y และแกน z) ดังรูปที่ 2.14 โดยไม่ต้องการการอ้างอิงเพิ่มเติมจากภายนอก ระบบ โดยระบบหรือเซ็นเซอร์ที่มีการคำนวณแบบ INS เรียกว่า Inertial Measurement Unit (IMU) ดังรูปที่ 2.15 วิธีการนี้สามารถคำนวณทิศทางและความเร็วได้อย่างแม่นยำ แต่ยังคงมีปัญหาในด้านของตำแหน่ง ซึ่งปัญหาดังกล่าวได้มีการแก้ไขและพัฒนาด้วยการทำงานร่วมกับวิธีการ Kalman filter ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 2.14 ขั้นตอนวิธีของ Inertial Navigation System [23]



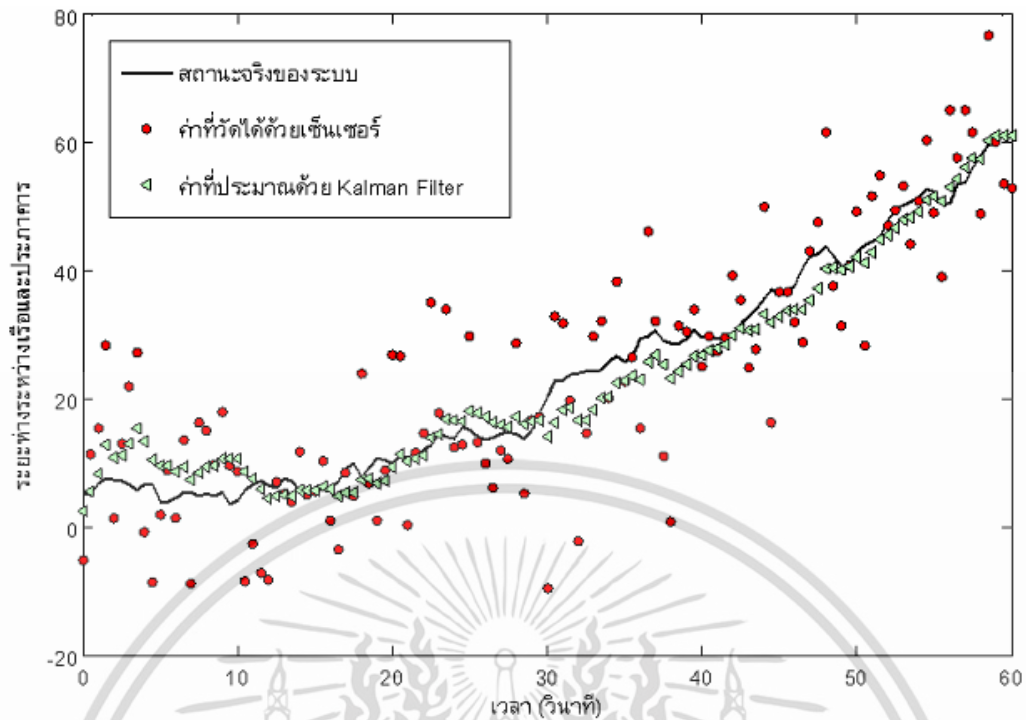
รูปที่ 2.15 รูปแบบมาตรฐานของ IMU [23]

2.4.3.2 Kalman Filter

เป็นวิธีการหนึ่งในการประเมินค่าสถานะที่ดีที่สุดของระบบ การเปลี่ยนแปลงสถานะของระบบตามลำดับเวลา ในทางปฏิบัติ การหาสถานะของระบบไม่ใช่เรื่องง่าย เพราะมีข้อจำกัดหลายปัจจัยเช่น ความไม่สมบูรณ์ของเซ็นเซอร์ที่ใช้วัดสถานะของระบบและความคลาดเคลื่อนในการวัด เป็นต้น วิธีการหนึ่งสำหรับหาสถานะของระบบคือใช้ Kalman Filter ซึ่งเป็นสูตรทางคณิตศาสตร์ พัฒนาโดย ดร. R. E. Kalman ในปี 1960 [24] Kalman Filter ถูกนำมาใช้ครั้งแรกเพื่อประมาณสถานะของระบบนำร่องของยาน Apollo ในการโคจรรอบโลก ปัจจุบัน Kalman filter ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในศาสตร์ของการหลอมรวมข้อมูล (Data fusion) เพื่อใช้ประมวลผลข้อมูลจากเซ็นเซอร์หลายประเภท ภายใต้สัญญาณรบกวน (Noise) จากหลายแหล่ง มาใช้ร่วมกันในลักษณะเกื้อกูลกันเพื่อหาค่าประมาณของสถานะที่ดีที่สุดของระบบ (Optimal) ตัวอย่างการใช้ Kalman Filter ได้แก่ Integrated INS/GPS System เป็นต้น จากรูปที่ 2.16 เป็นตัวอย่างการวัด

ระยะทางระหว่างเรือและประการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 ผลการจำลองการประมาณระยะห่างระหว่างประภาคารและเรือด้วย Kalman Filter [25]

เมื่อทำการวัดค่าการสวิงด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ข้อมูลที่ได้ถูกนำมาดำเนินการให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ เช่น การดำเนินการข้อมูลการบิดหมุนให้อยู่ในรูปแบบของความเร็วเชิงมุม (deg/s) การดำเนินการข้อมูลความเร็วให้อยู่ในรูปแบบของความเร็วของไม้กอล์ฟขณะทำการสวิง (m/s) [3] ซึ่งข้อมูลดังกล่าวถูกนำมาเปรียบเทียบความถูกต้องของวิธีการวิเคราะห์ เช่นการนำภาพถ่ายที่ได้จากกล้อง Pointgrey Firefly FMVU-03MTC เปรียบเทียบกับเซ็นเซอร์วัดการเคลื่อนไหว XSens MTi เพื่อวัดความแม่นยำของวิธีการวัดและดำเนินการข้อมูล

สิ่งสำคัญในการวิเคราะห์การสวิงกอล์ฟคือการหารูปแบบการสวิง ซึ่งมีการหารูปแบบการสวิงรูปแบบต่างๆ เช่นการใช้ Inertial Navigation Algorithm ร่วมกับ Kalman Filter เพื่อหารูปแบบการสวิง โดยใช้ข้อมูลตำแหน่งและความเร็วของไม้กอล์ฟขณะสวิง จำลองและทำนายความเป็นไปได้ของการสวิง [27] การใช้ Simplified Swarm Optimization [26] หรือ Neural Networks [28] จำแนกและระบุลักษณะการสวิงโดยใช้ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักที่ถ่ายไปยังเท้าขณะสวิง

จากรูปแบบการวิเคราะห์การสวิงในรูปแบบต่างๆข้างต้น พบว่าผลลัพธ์จากการหารูปแบบการสวิงในแต่ละวิธีนั้นมีความแตกต่างกัน แม้ว่าการสวิงกอล์ฟจะมีรูปแบบการสวิงที่ชัดเจนคือ 8 ขั้นตอนของการสวิง แต่ก็สามารถเลือกวิเคราะห์เฉพาะบางมุมมองที่เหมาะสม ผู้วิจัยได้เกิดความคิดในการแบ่งกลุ่มข้อมูลให้เหมาะแก่การวิเคราะห์เพื่อหารูปแบบเฉพาะของการสวิงและวิธีการเปรียบเทียบข้อมูลการสวิง ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอวิธีการเปรียบเทียบการสวิงกอล์ฟ โดยการใช้ข้อมูลการสวิงกอล์ฟ จากเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว เพื่อใช้ในการฝึกความมั่นคงของท่าทางการสวิงกอล์ฟ งานวิจัยนี้ เลือกลงข้อมูลจากบริเวณกล้ามเนื้อหลังส่วนบนและส่วนล่างในการวัดการสวิง เนื่องจากกล้ามเนื้อ บริเวณหลังทั้ง 2 ส่วนเป็นส่วนสำคัญในการออกแรงสวิง ทั้งสองส่วนล้วนทำงานร่วมกันในการออกแรง อย่างมีความสัมพันธ์ การเคลื่อนที่ที่บริเวณนี้ส่งผลตั้งแต่กระดูกสันหลังส่วนอก (Thoracic Spines) และกระดูกสันหลังส่วนเอว (Lumbar Spines) [29] ซึ่งสัมพันธ์กับกล้ามเนื้อหลังส่วนบนและส่วนล่าง ดังนั้นจึงใช้อุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนไหวเพียง 2 ตัว มีข้อบ่งชี้ว่าการเคลื่อนไหวที่บริเวณนี้ไม่เพียงแต่ ส่งผลต่อการออกแรง แต่ยังคงมีผลกับแกนกระดูกสันหลัง

ลักษณะการสวิงกอล์ฟที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนไหวนั้น จะถูกนำมาเปรียบเทียบ ระหว่างผู้ทดสอบหลายคนจำนวนหลายๆครั้ง จากการสังเกตยังคงพบความแตกต่างในแต่ละช่วงเวลา หรือท่าทาง เช่นท่าขณะยกไม้ของผู้สวิงคนเดียวกัน แม้ผู้ทดสอบทุกคนจะได้รับคำแนะนำจาก ผู้เชี่ยวชาญให้สวิงตามรูปแบบที่ถูกต้อง จากการวัดการบิดหมุนและความเร่งของผู้ทดสอบ ยังคงพบ ความแตกต่างของท่าทาง การสวิงกอล์ฟแต่ละครั้งของผู้ทดสอบมีการใช้ระยะเวลาในแต่ละท่าทาง แตกต่างกันไป รวมถึงการบิดหมุนและการออกแรงก็พบความแตกต่างเช่นกัน จุดนี้คือปัญหาที่ต้อง วิเคราะห์และแก้ไขในการเปรียบเทียบ (ลักษณะข้อมูลการสวิงกอล์ฟจะแสดงในบทที่ 4)

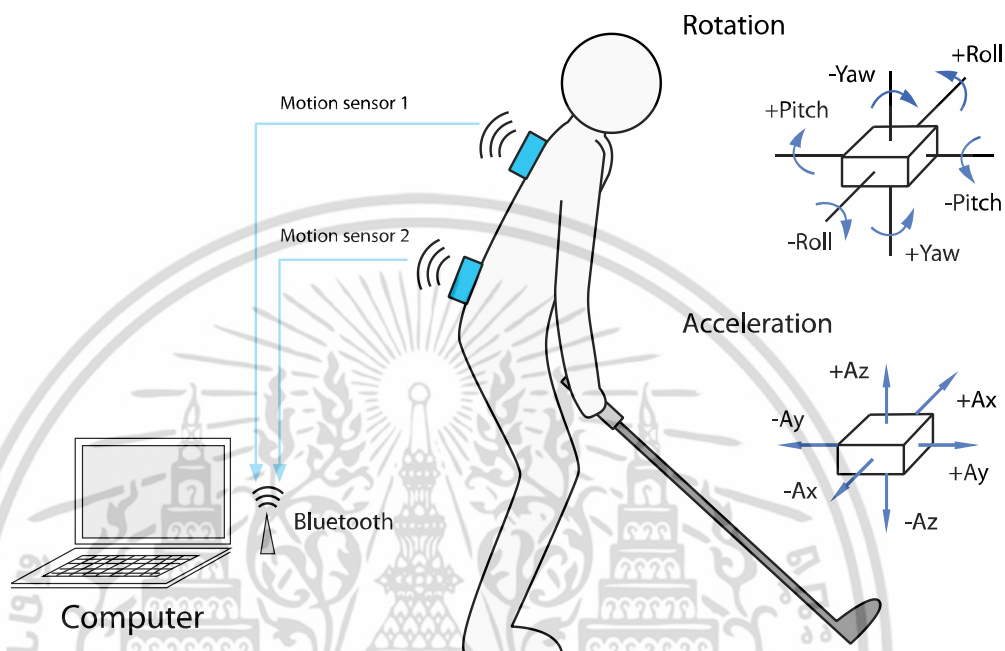
จากการศึกษาขั้นตอนวิธีในการเปรียบเทียบความเหมือนในหลายๆงานวิจัยเช่น Cosine Similarity สามารถวัดความเหมือนของข้อมูล 2 ชุดได้ แต่เมื่อใช้เปรียบเทียบกับข้อมูลการเคลื่อนไหว ที่มีการเริ่มต้นและระยะเวลาของแต่ละท่าทางแตกต่างกัน ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าที่สูงเกิน ความเป็นจริง ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว ท่าทางเดียวกันควรจะมีความคลาดเคลื่อนที่แตกต่างกันไม่มากนัก ดังนั้นผู้วิจัยจึงคิดค้นวิธีการสำหรับปัญหานี้ โดยการมุ่งเน้นที่การแบ่งช่วงเวลาที่มีลักษณะการ เคลื่อนไหวคล้ายคลึงกัน โดยใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลเป็นเกณฑ์ในการแบ่ง ผลลัพธ์ของ ขั้นตอนการแบ่งนี้ ข้อมูลจะถูกเปลี่ยนจากข้อมูลรูปแบบไม่เชิงเส้นเป็นรูปแบบเชิงเส้น จากนั้นจึงทำ การวัดความเหมือนของชุดข้อมูลโดยการหาความสัมพันธ์ของท่าทางในแต่ละชุดข้อมูลและทำการ เปรียบเทียบเฉพาะในแต่ละท่าทาง เพื่อหาความคลาดเคลื่อนของการสวิง งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ออกแบบ การทดลองเป็น 3 ส่วนคือ

- 1) การตรวจจับการสวิงกอล์ฟ
- 2) ลักษณะข้อมูลที่ใช้ในการสวิงกอล์ฟ
- 3) วิธีการแบ่งกลุ่มและเปรียบเทียบข้อมูลการเคลื่อนไหวในลักษณะเชิงเส้น (CCL)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 การตรวจจับการสวิงกอล์ฟ

งานวิจัยนี้ใช้เซ็นเซอร์ 9 Degrees of Freedom - Razor IMU ซึ่งเป็นเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว ติดที่บริเวณกลางหลังส่วนบนและกลางหลังส่วนล่าง เพื่อสังเกตลักษณะการทำงานกล้ามเนื้อหลังส่วนบนและส่วนล่าง และเอว ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ลักษณะการติดเซ็นเซอร์และลักษณะข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์

เมื่อทำการสวิง ข้อมูลจะถูกส่งจากเซ็นเซอร์ทั้ง 2 ตัวแบบเวลาจริง ผ่านสัญญาณบลูทูธมาประมวลผลที่เครื่องคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อ โดยข้อมูลจะถูกประมวลผลด้วยโปรแกรมประยุกต์ที่พัฒนาขึ้นโดยเฉพาะ เพื่อทำการแบ่งกลุ่มข้อมูลและเปรียบเทียบข้อมูลจากการสวิงกอล์ฟ

3.2 ลักษณะข้อมูลที่ใช้ในการสวิงกอล์ฟ

ข้อมูลที่ผู้วิจัยเลือกใช้จาก Razor IMU มี 2 ชุดคือความเร่งและการบิดหมุน ข้อมูลความเร่งที่วัดได้นั้นอยู่ในช่วง $\pm 16g$ ในระนาบ 3 มิติ (x, y และ z) ข้อมูลการบิดหมุนที่วัดได้อยู่ในช่วง ± 180 องศาในระนาบ 3 มิติ (roll, pitch และ yaw) โดยข้อมูลจาก Razor IMU ถูกส่งมาด้วยความถี่ 50 ครั้งต่อวินาที มีลักษณะดังรูปที่ 3.1

3.3 วิธีการแบ่งกลุ่มและเปรียบเทียบข้อมูลการเคลื่อนไหวในลักษณะเชิงเส้น (CCL)

เป็นวิธีการที่ผู้วิจัยนำเสนอเพื่อใช้สำหรับหาลักษณะเฉพาะของการสวิงในแต่ละครั้ง วิธีการนี้แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือการแบ่งกลุ่มข้อมูลและการเปรียบเทียบลักษณะข้อมูล

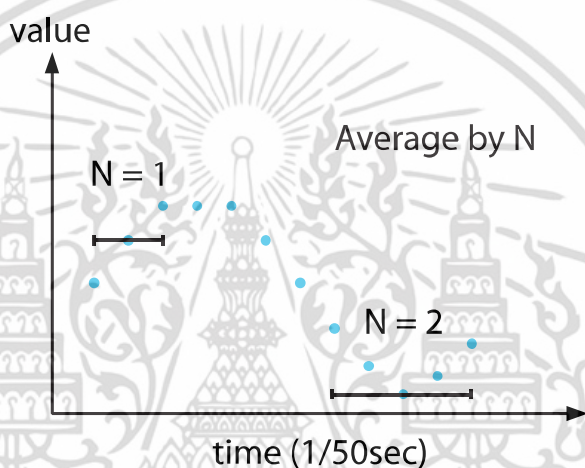
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 การแบ่งกลุ่มข้อมูล

ขั้นตอนนี้เป็นการแบ่งกลุ่มข้อมูลการสวิงกอล์ฟในแต่ละช่วงเวลาให้อยู่ในรูปแบบของสมการเชิงเส้น มี 2 ขั้นตอนคือการลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลและการแบ่งกลุ่มข้อมูลตามอัตราการเปลี่ยนแปลง

3.3.1.1 การลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูล

เป็นการลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลจากการแกว่งและการพ่นกล้ามเนื้ออย่างไม่คงที่ ทำให้ข้อมูลการสวิงที่วัดได้มีความผิดพลาด ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการเฉลี่ยข้อมูลในช่วงเวลาใกล้เคียงกันเข้าด้วยกันดังรูปที่ 3.2 และใช้การคำนวณตามสมการที่ (3.1)



รูปที่ 3.2 การเฉลี่ยข้อมูลเพื่อลดความคลาดเคลื่อน

จากรูปที่ 3.2 เป็นการเฉลี่ยข้อมูลที่เวลาใดๆ t จำนวน N จุด ซึ่งในรูปแบบตัวอย่างการใช้ N เท่ากับ 1 และ 2

$$ND_k = \begin{cases} (\sum_{k-n}^{k+n} OD_k)/(2n+1) & \text{if } k > n \\ OD_k & \text{if } k \leq n \end{cases} \quad (3.1)$$

- โดยที่ k = เป็นลำดับของเวลาใดๆ
- N = เป็นช่วงของการเฉลี่ยที่กำหนด
- OD = เป็นชุดข้อมูลที่วัดได้จากเซ็นเซอร์โดยตรง
- ND = เป็นชุดข้อมูลใหม่ที่ผ่านการลดความคลาดเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.2 การแบ่งกลุ่มข้อมูลตามอัตราการเปลี่ยนแปลง

เป็นขั้นตอนการแบ่งกลุ่มข้อมูลที่ผ่านการลดความคลาดเคลื่อนในแต่ละช่วงเวลาให้อยู่ในรูปแบบของสมการเชิงเส้นพื้นฐานดังสมการที่ (3.2)

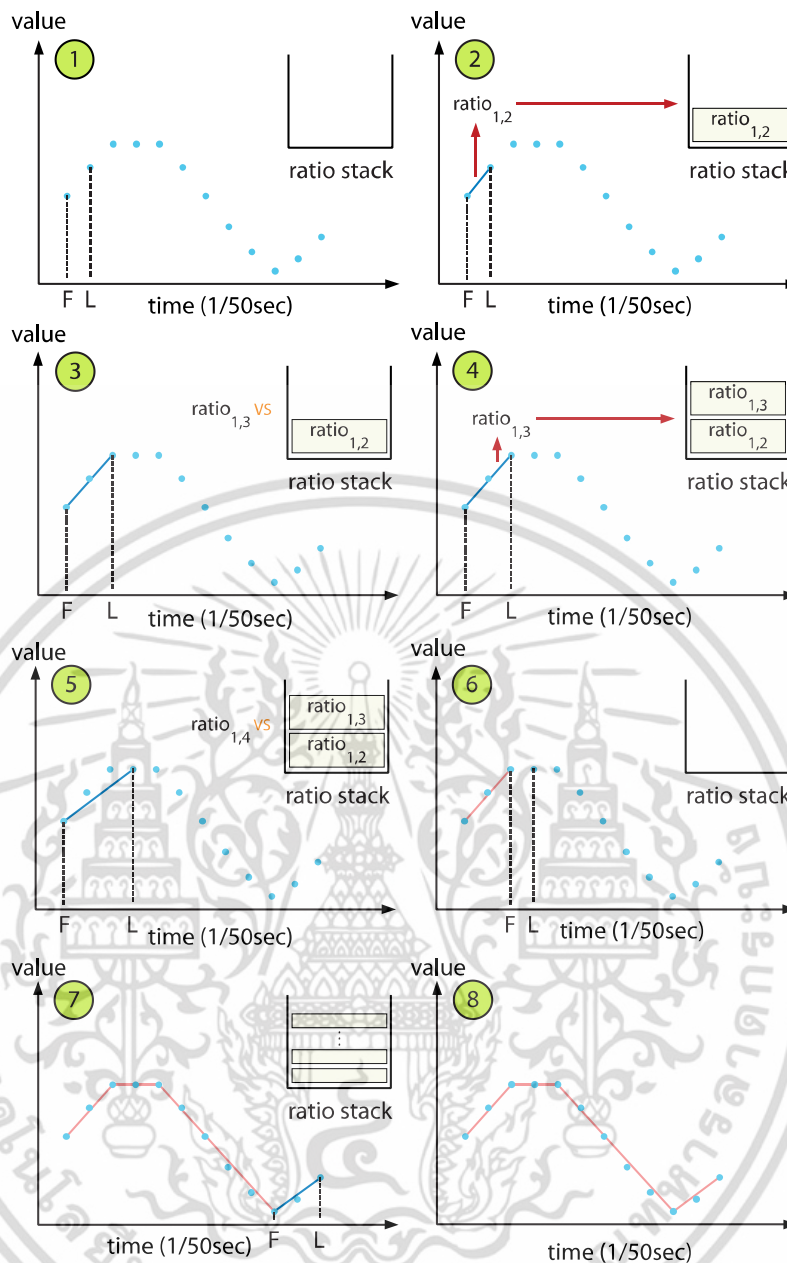
$$y = ax + b \quad (3.2)$$

โดยที่

y	=	ค่าของข้อมูลในแนวแกน y
x	=	ค่าของข้อมูลในแนวแกน x
a	=	ค่าสัมประสิทธิ์ของ x
b	=	ค่าคงตัว

โดยแบ่งตามอัตราการเปลี่ยนแปลงที่อยู่ในช่วงเดียวกันหรือความคลาดเคลื่อนแตกต่างกันในกรอบที่ยอมรับได้ ขั้นตอนการแบ่งกลุ่ม แสดงดังนี้

- 1) กำหนดร้อยละของขอบเขตความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับในการแบ่งกลุ่มข้อมูล (limit) และร้อยละการลดลงของขอบเขตความคลาดเคลื่อน (limit mul) กำหนดให้ F (first) เป็นตำแหน่งเริ่มต้นและ L (last) เป็นตำแหน่งท้ายของการแบ่งกลุ่ม และ ratio stack เป็นอาร์เรย์สำหรับเก็บอัตราการเปลี่ยนแปลงเพื่อใช้ในการคำนวณ
- 2) คำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงจาก F ถึง L เก็บลง ratio stack
- 3) ทำการเลื่อน L ไปยังตำแหน่ง t+1 ทำการเปรียบเทียบกับ ratio ใน ratio stack
- 4) หากการเปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนแปลงมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าขอบเขตที่กำหนด ให้ทำการเพิ่ม ratio ที่ช่วง F ถึง L นั้นลง ratio stack
- 5) เลื่อนตำแหน่งของ L ดังขั้นตอนที่ 3
- 6) หากการเปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนแปลงมีความคลาดเคลื่อนมากกว่า limit ช่วงเวลาที่ F ถึง L จะถูกแบ่งกลุ่มข้อมูลไว้กลุ่มเดียวกัน ทำการล้างข้อมูลใน ratio stack และกำหนดตำแหน่งของ F และ L ใหม่
- 7) ทำการคำนวณซ้ำจากขั้นตอนที่ 1-6 จนตำแหน่งของ L เป็นข้อมูลลำดับสุดท้าย
- 8) เสร็จสิ้นการแบ่งกลุ่มดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูล

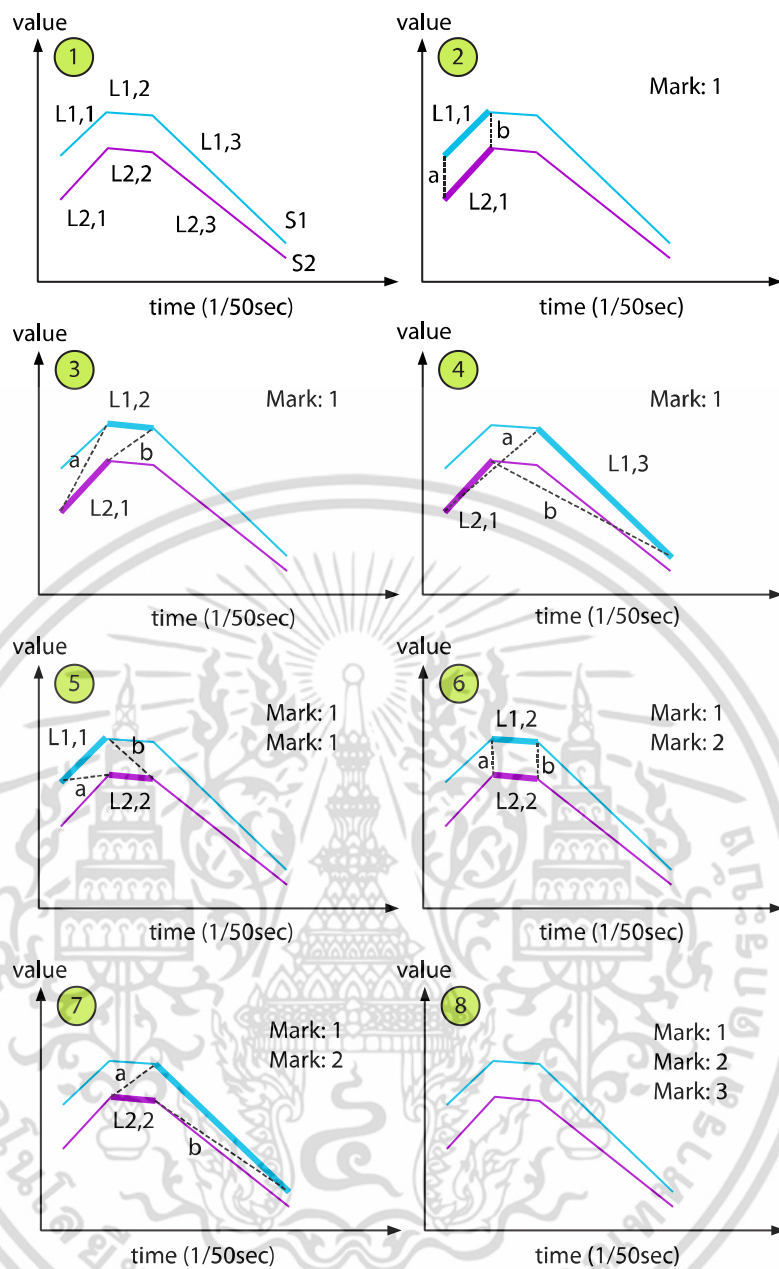
3.3.2 การเปรียบเทียบลักษณะข้อมูล

เป็นวิธีการที่ผู้วิจัยคิดค้นเพื่อเปรียบเทียบข้อมูลการสวิงกอล์ฟที่ได้ทำการจำแนกกลุ่มตามอัตราการเปลี่ยนแปลง โดยใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล หรือความชันของเส้นตรงที่ได้ทำการจำแนกข้อมูลไว้มาเปรียบเทียบด้วยวิธี SMAPE (Symmetric Mean Absolute Percentage Error) ดังสมการที่ (2.6) และมีขั้นตอนการเปรียบเทียบดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) กำหนดชุดข้อมูลหลัก และชุดข้อมูลเปรียบเทียบ จากรูปที่ 3.4 ข้อมูลชุด S2 เป็นชุดข้อมูลหลัก S1 เป็นชุดข้อมูลเปรียบเทียบ
- 2) ทำการจับคู่ท่วงท่าที่มีความคล้ายคลึงกันจากอัตราการเปลี่ยนแปลงของชุดข้อมูล S1 และ S2 โดยการเปรียบเทียบระยะห่างของเส้นตรงจากจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเส้นตรงด้วยฟังก์ชันระยะทาง (Euclidean Distance) เริ่มต้นค้นหาจากตำแหน่งที่จับคู่ไว้ก่อน (หากยังไม่มีกรจับคู่ให้เริ่มต้นที่ 0) ไล่ลำดับการค้นหาระยะที่ใกล้ที่สุด หากเส้นตรงใดมีระยะห่างมากกว่าเส้นปัจจุบันที่พิจารณา ให้ยุติการเลือกเส้นตรงและคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนด้วยขั้นตอนวิธี sMAPE จากนั้นจึงเลือกเส้นที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ดังขั้นตอนที่ 2 จากรูปที่ 3.4 กำหนดให้ระยะห่างที่จุดเริ่มเป็น a และระยะห่างที่จุดสิ้นสุดคือ b นำระยะทางคำนวณรวมกันเป็น a+b
- 3) ทำการเลื่อนการเปรียบเทียบข้อมูลของ S1 ไปยังลำดับถัดไป ทำการเปรียบเทียบดังขั้นตอนที่ 2-4 คือเทียบ L2,1 กับ L1,1 L1,2 และ L1,3 และทำการเลือกส่วนของเส้นตรงตามขั้นตอนที่ 2)
- 4) เมื่อทำการเลือกได้แล้วว่าช่วงเวลาใดอยู่ใกล้กัน ทำการ mark ช่วงเวลานั้นไว้ จะได้ว่าท่วงท่าของชุดข้อมูล L2,1 คล้ายคลึงกับ L1,1 มากที่สุด
- 5) ทำการเลื่อนลำดับของชุดข้อมูล S2 ไปอีก 1 ลำดับ เลือกส่วนของเส้นตรงจาก S1 โดยเริ่มที่ mark ซึ่งคือ L1,1 จากรอบที่แล้ว โดยจะคำนวณระยะห่างของเส้นตรงจาก 2 ชุดข้อมูลไปเรื่อยๆ จนกว่าระยะห่างของเส้นตรงทั้ง 2 ชุดข้อมูลจะมีค่ามากขึ้น (จุดที่เริ่มคำนวณคือ mark ซึ่งอาจไม่ใช่เส้นตรงที่ใกล้มากที่สุด ระยะห่างของทั้ง 2 เส้น อาจเริ่มจากเส้นที่ระยะทางมาก และน้อยลงเรื่อยๆ ในทุกลำดับชุดข้อมูลที่ S1) เมื่อได้เส้นตรงที่ทำให้ระยะห่างมากขึ้นแล้ว ให้บันทึกเส้นตรงนั้นไว้
- 6) ทำการเลือกเส้นตรงที่มีความคล้ายคลึงมากที่สุด โดยนำอัตราการเปลี่ยนแปลงของเส้นตรงทั้ง 2 เส้น (L2,1 และเส้นที่เลือกมาจาก S1 ในขั้นตอนก่อนหน้า) คำนวณค่าความคลาดเคลื่อนด้วยขั้นตอนวิธี sMAPE จากนั้นจึงเลือกเส้นตรงที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเป็นเส้นที่มีความคล้ายคลึงกัน และ mark เส้นตรงนั้นไว้
- 7) ทำการนำเส้นตรงจากชุดข้อมูล S1 และ S2 ที่คัดเลือกแล้วว่ามี ความคล้ายคลึงกัน คำนวณค่าความเหมือนจาก 100-ค่าความคลาดเคลื่อนจาก SMAPE โดยใช้อัตราการเปลี่ยนแปลง (ratio หรือความชันของเส้นตรง) ของข้อมูลมาคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 วิธีการเปรียบเทียบชุดข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้เป็นการทดลองขั้นตอนวิธี CCL กับข้อมูลการสวิงกอล์ฟ โดยใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว Razor IMU ในการวัดค่าการสวิงในแต่ละครั้ง ขั้นตอนวิธี CCL สามารถแสดงความแตกต่างของการสวิงในแต่ละครั้ง จากผู้ทดสอบที่มีประสบการณ์ด้านการสวิงกอล์ฟ และผู้เล่นกีฬา กอล์ฟทั่วไป มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 การทดสอบ

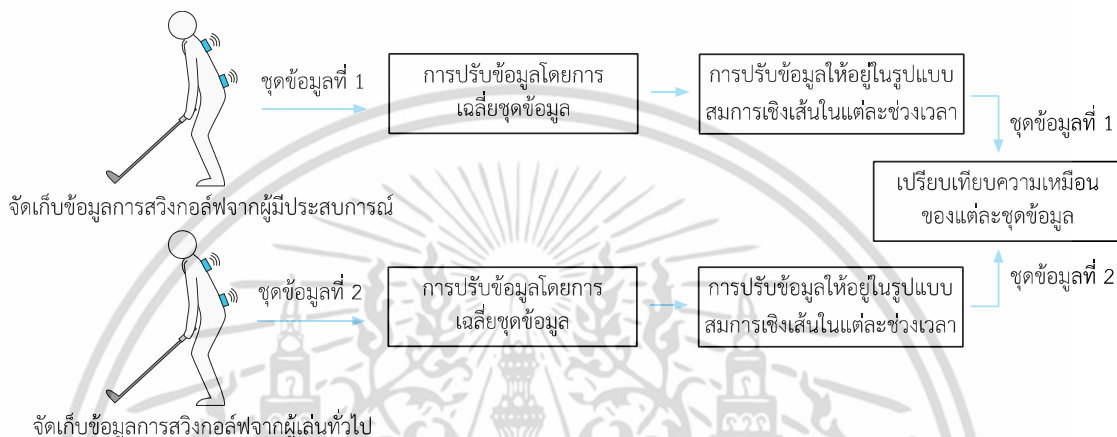
ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบขั้นตอนวิธี CCL มาจากการวัดค่าการสวิงกอล์ฟด้วยเซ็นเซอร์ Razor IMU โดยทำการวัดจาก 2 ส่วนของร่างกายคือกล้ามเนื้อหลังส่วนบน และกล้ามเนื้อหลังส่วนล่าง ทั้ง 2 ส่วนนี้เป็นส่วนสำคัญในการทำงานประสานกันของกล้ามเนื้อหลังและกระดูกสันหลัง การทดสอบแบ่งผู้ทดสอบออกเป็น 2 กลุ่มคือผู้ทดสอบที่มีประสบการณ์ 1 คน และผู้เล่นกีฬา กอล์ฟทั่วไป 4 คน ซึ่งผู้ทดสอบแต่ละคนจะทำการทดลองจำนวน 5 ครั้ง อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดการสวิง ได้แก่ เซ็นเซอร์ตรวจจับ เซ็นเซอร์ Razor IMU สำหรับใส่เซ็นเซอร์ที่บริเวณกล้ามเนื้อหลังส่วนบนและล่าง เสื้อออกกำลังกาย ชนิดยืดหยุ่นเพื่อกระชับเซ็นเซอร์และร่างกายผู้ทดสอบเข้าด้วยกัน และคอมพิวเตอร์พกพาที่สามารถเชื่อมต่อสัญญาณบลูทูธได้ ทำการสวิงกอล์ฟแบบเต็มแรงด้วยไม้กอล์ฟชุดเหล็ก 1 (ไม่มีลูกกอล์ฟ) ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ชุดอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลการสวิงกอล์ฟ (a) คือเสื้อประกอบเซ็นเซอร์และเสื้อรัดกล้ามเนื้อ (b) คือเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว (c) คือการจัดเก็บข้อมูลการสวิงกอล์ฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลที่ได้จากการสวิงกอล์ฟใน 1 ครั้ง ประกอบไปด้วยข้อมูล 2 ชุดคือข้อมูลจากกล้ามเนื้อหลังส่วนบนและกล้ามเนื้อหลังส่วนล่าง แต่ละชุดจะประกอบด้วย 6 ชุดข้อมูลย่อยคือ roll, pitch, yaw, Ax, Ay และ Az ดังกล่าวไว้ในบทที่ 3 สำหรับเวลาในการทดสอบแต่ละครั้ง กำหนดให้ผู้ทดสอบทำการสวิงกอล์ฟภายในเวลา 2.5 วินาที นับตั้งแต่เริ่มให้สัญญาณ จากนั้นข้อมูลที่ได้จากการสวิงจะถูกส่งจากเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว Razor IMU ผ่านสัญญาณบลูทูธด้วยความถี่ 50 ครั้งต่อวินาทีมายังเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการประมวลผลด้วยขั้นตอนวิธี CCL แสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ขั้นตอนวิธี CCL

จากรูปที่ 4.2 การทดสอบด้วยขั้นตอนวิธี CCL แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1: จัดเก็บข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบขั้นตอนวิธี CCL จากการวัดค่าการสวิงกอล์ฟด้วยเซ็นเซอร์ Razor IMU

ขั้นตอนที่ 2: การปรับข้อมูลโดยการเฉลี่ยชุดข้อมูล โดย 2 ข้อมูลมีการตั้งค่าแตกต่างกันคือ ข้อมูลการบิดหมุน หรือ Roll, Pitch, Yaw ใช้การเฉลี่ย $N = 3$ และ สำหรับข้อมูลความเร่ง หรือ Ax, Ay, Az ใช้การเฉลี่ย $N = 5$ จากนั้นจึงวัดค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยแบบแอบโซลูท (MAPE) ตามสมการที่ 2.5 ระหว่างชุดข้อมูลเดิมและชุดข้อมูลใหม่

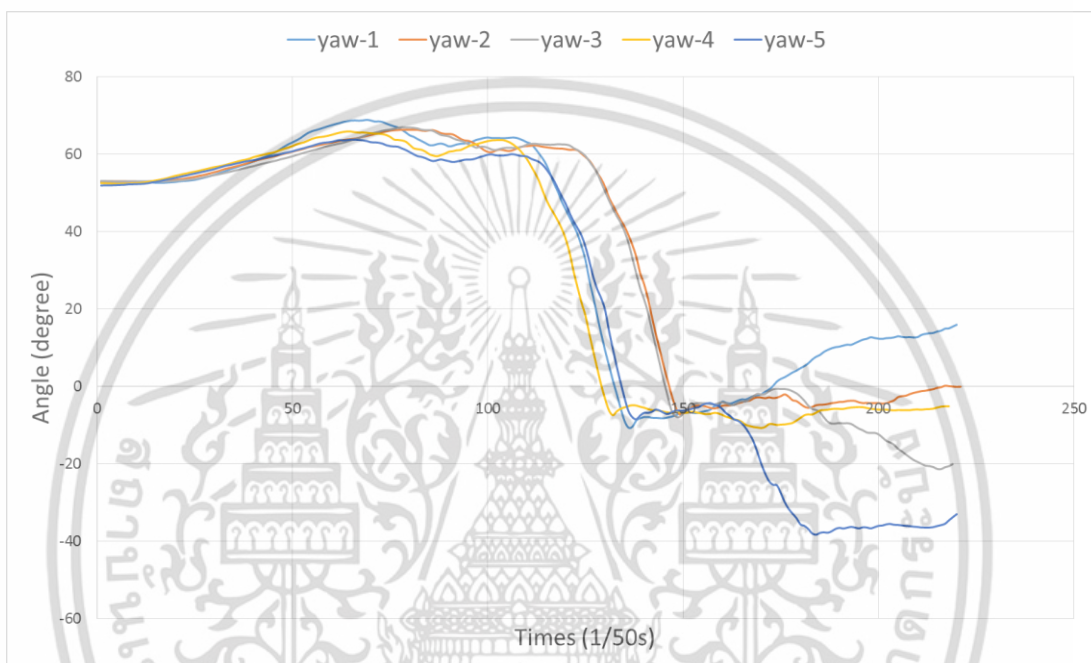
ขั้นตอนที่ 3: การปรับข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้นในแต่ละช่วงเวลา โดยมีการกำหนดตัวแปรความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (limit) เป็น 50% และค่าคงที่ของอัตราการเปลี่ยนแปลงที่ยอมรับได้ 10% จากนั้นจึงวัดค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยแบบซิมเมตริกแอบโซลูท (sMAPE) ตามสมการที่ 2.6 ระหว่างข้อมูลที่ได้จากการเฉลี่ยและข้อมูลที่ได้ปรับให้อยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้น

ขั้นตอนที่ 4: ทำการเปรียบเทียบความเหมือนของแต่ละชุดข้อมูล และวัดค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลการสวิงในแต่ละชุด

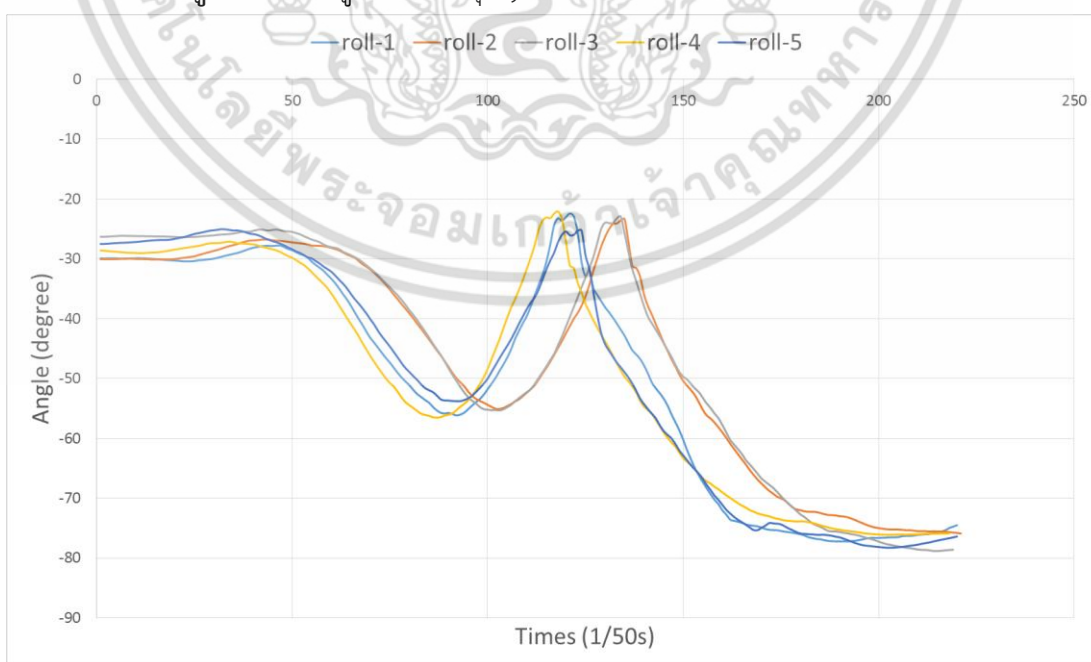
4.2 ผลการทดสอบ

4.2.1 ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ

ข้อมูลส่วนนี้ ได้จากการทดสอบการสวิงกอล์ฟจำนวน 5 ครั้ง จากผู้ทดสอบ 5 คน แต่ละครั้งประกอบด้วยข้อมูล 2 ส่วนคือกล้ามเนื้อหลังส่วนบนและส่วนล่าง แต่ละส่วนประกอบด้วย 6 ชุด ข้อมูลดังที่กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ ในบทนี้ผู้วิจัยเลือกการสวิงจากผู้ทดสอบที่มีประสบการณ์ด้านการสวิงกอล์ฟเพียง 1 คน ผลการสวิงกอล์ฟเป็นดังรูปที่ 4.3 ถึงรูปที่ 4.14

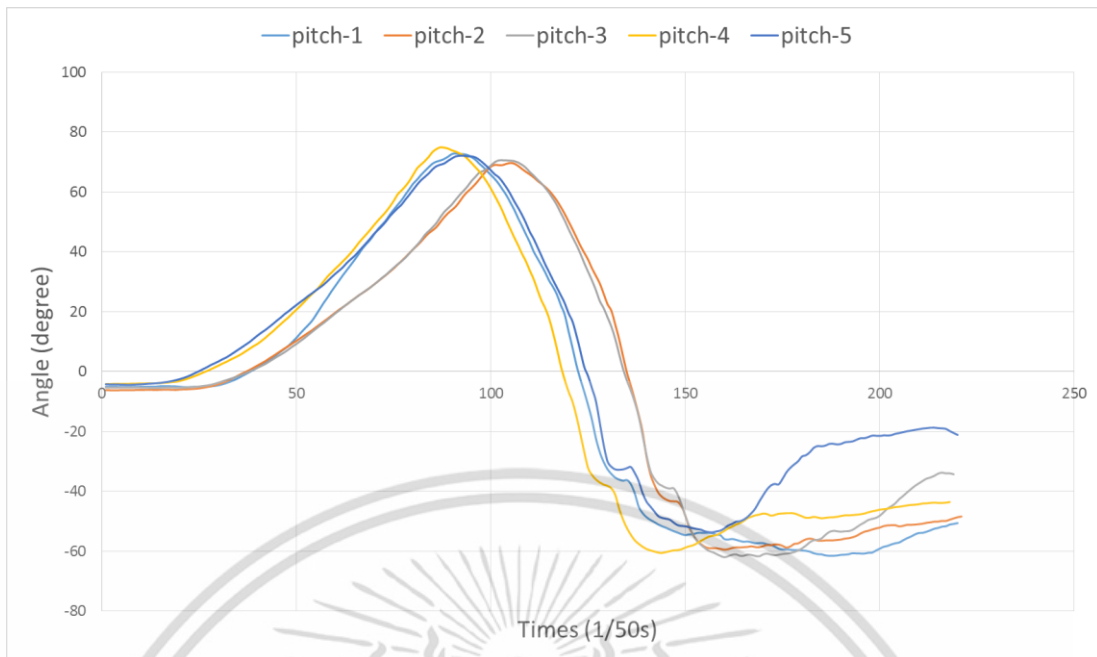


รูปที่ 4.3 ข้อมูลการบิดหมุน yaw ที่กล้ามเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง

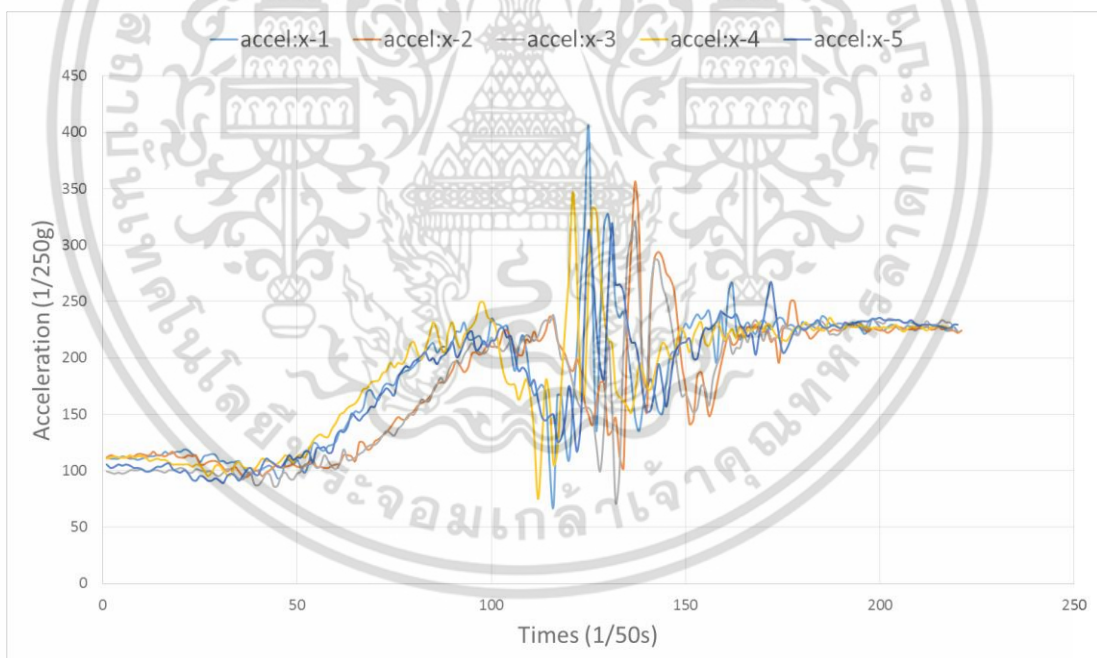


รูปที่ 4.4 ข้อมูลการบิดหมุน roll ที่กล้ามเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

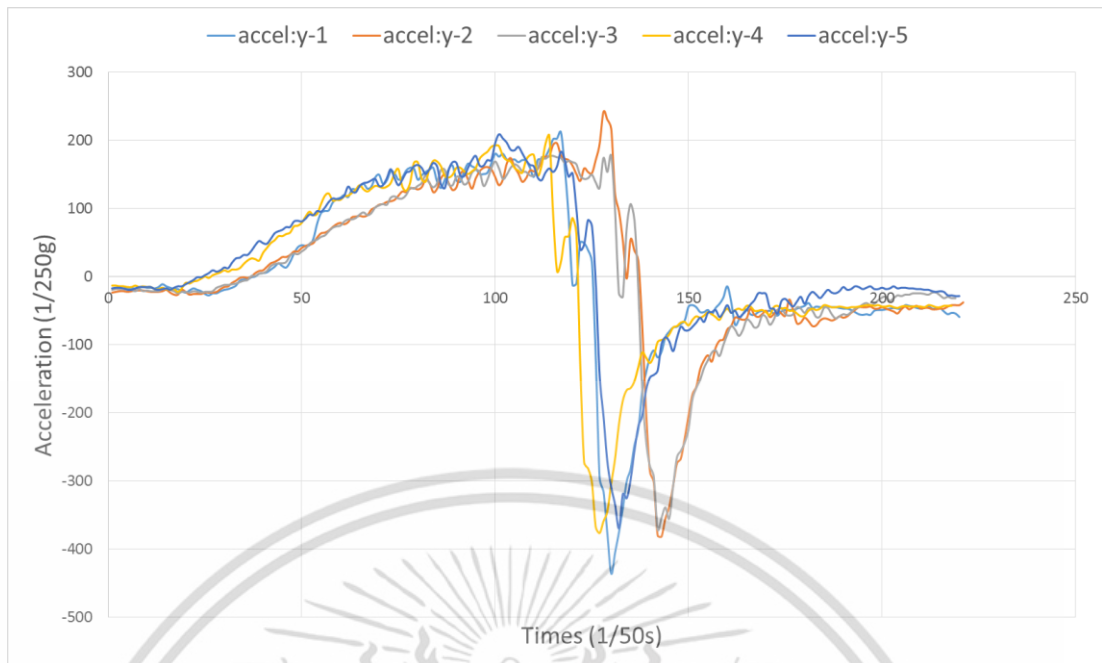


รูปที่ 4.5 ข้อมูลการบิดหมุน pitch ที่กล้ำเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง

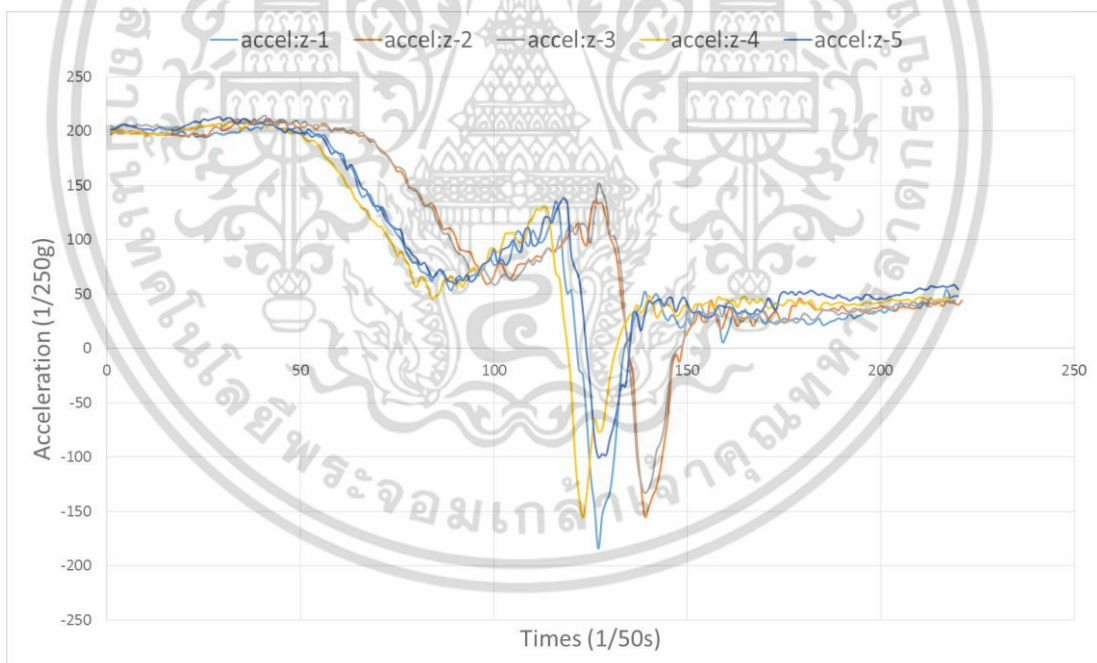


รูปที่ 4.6 ข้อมูลความเร่ง accel:x ที่กล้ำเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

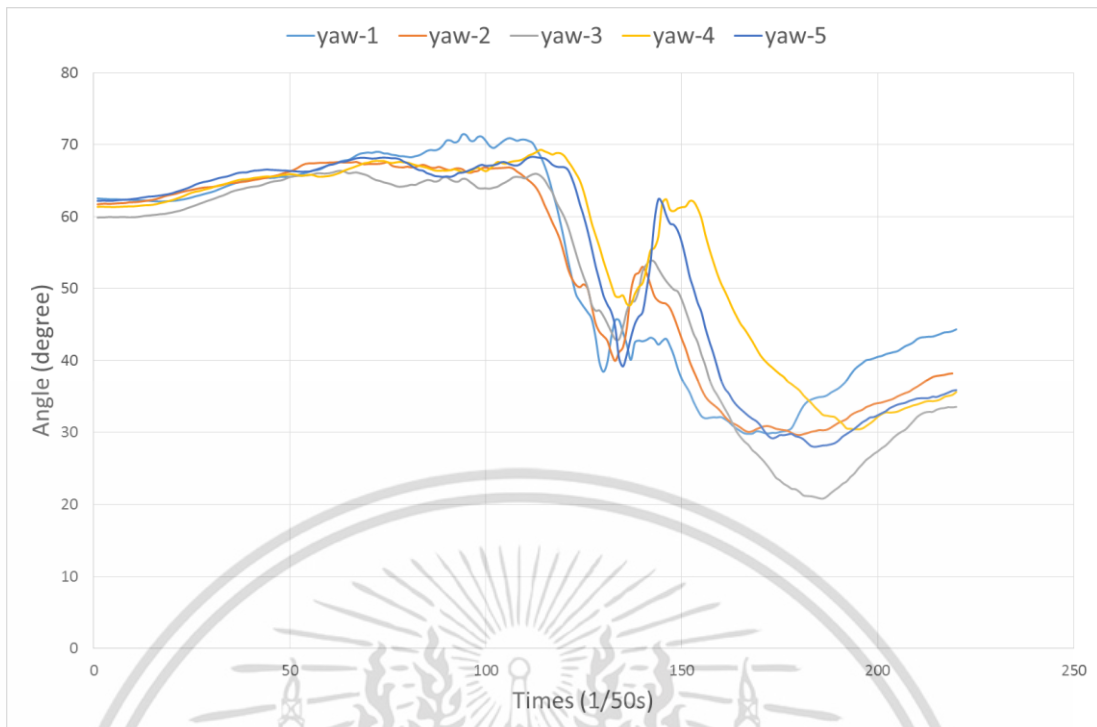


รูปที่ 4.7 ข้อมูลความเร่ง accel:y ที่กล้ำเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง

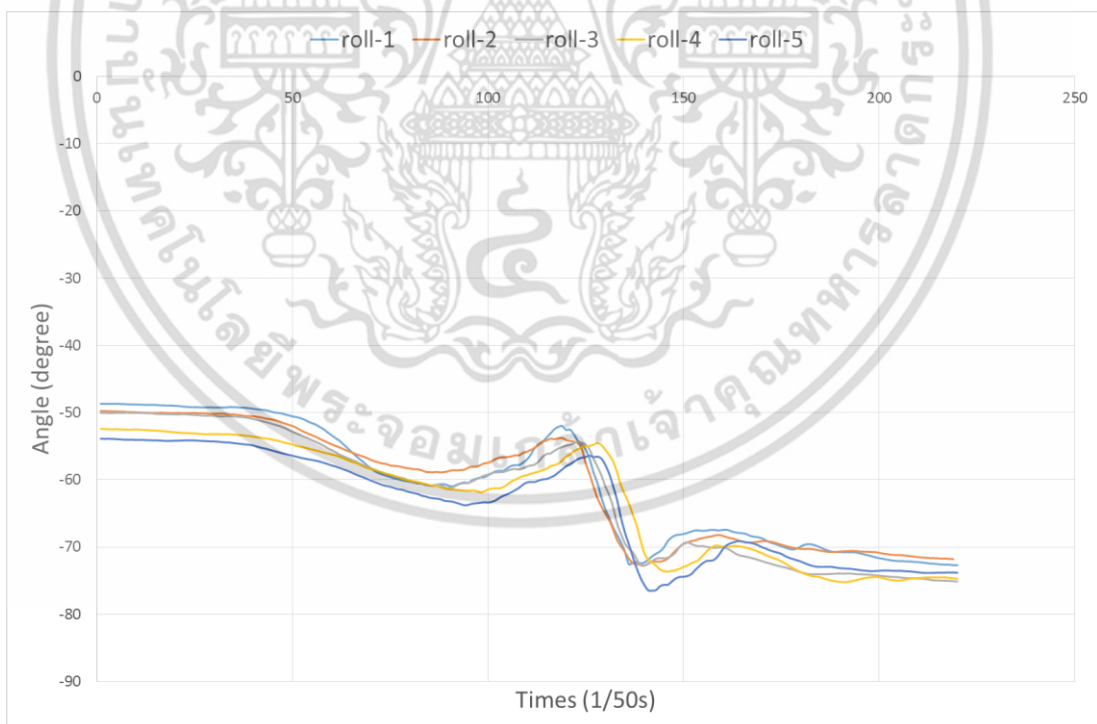


รูปที่ 4.8 ข้อมูลความเร่ง accel:z ที่กล้ำเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

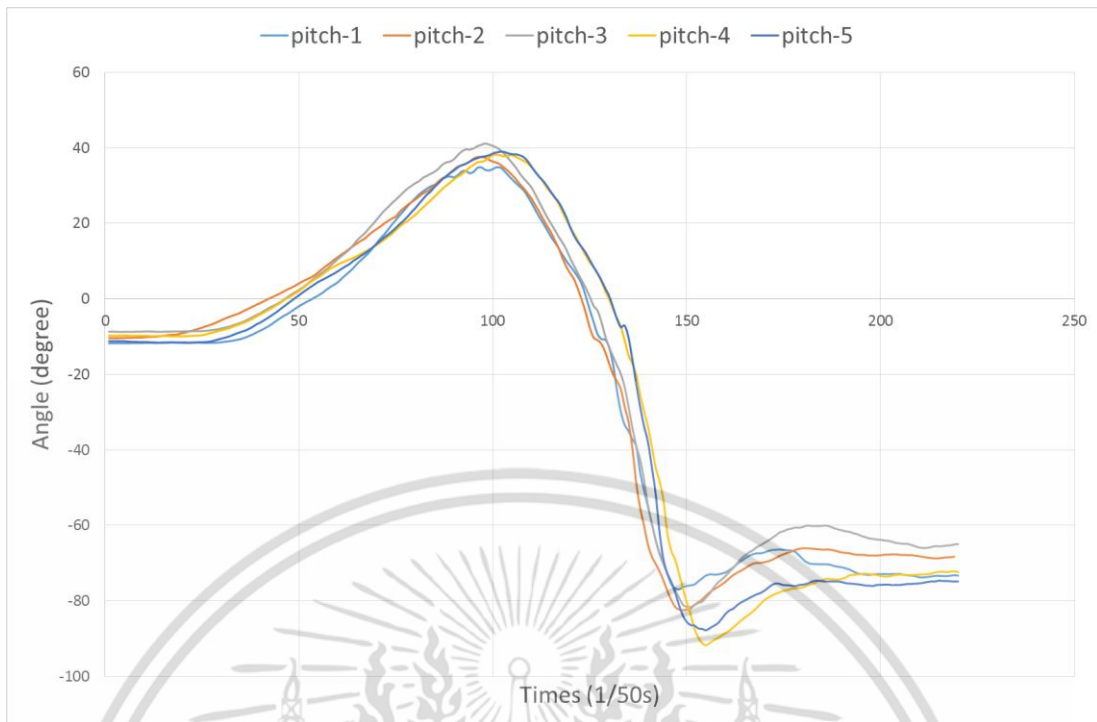


รูปที่ 4.9 ข้อมูลการบิดหมุน yaw ที่กล้ำเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง

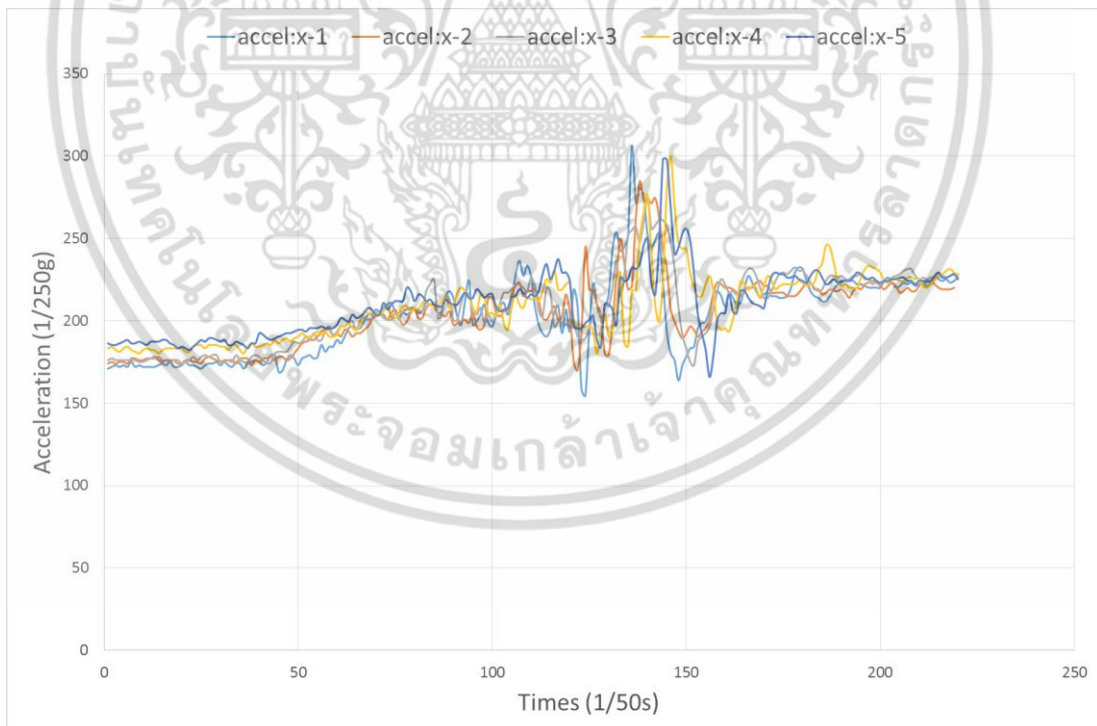


รูปที่ 4.10 ข้อมูลการบิดหมุน roll ที่กล้ำเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

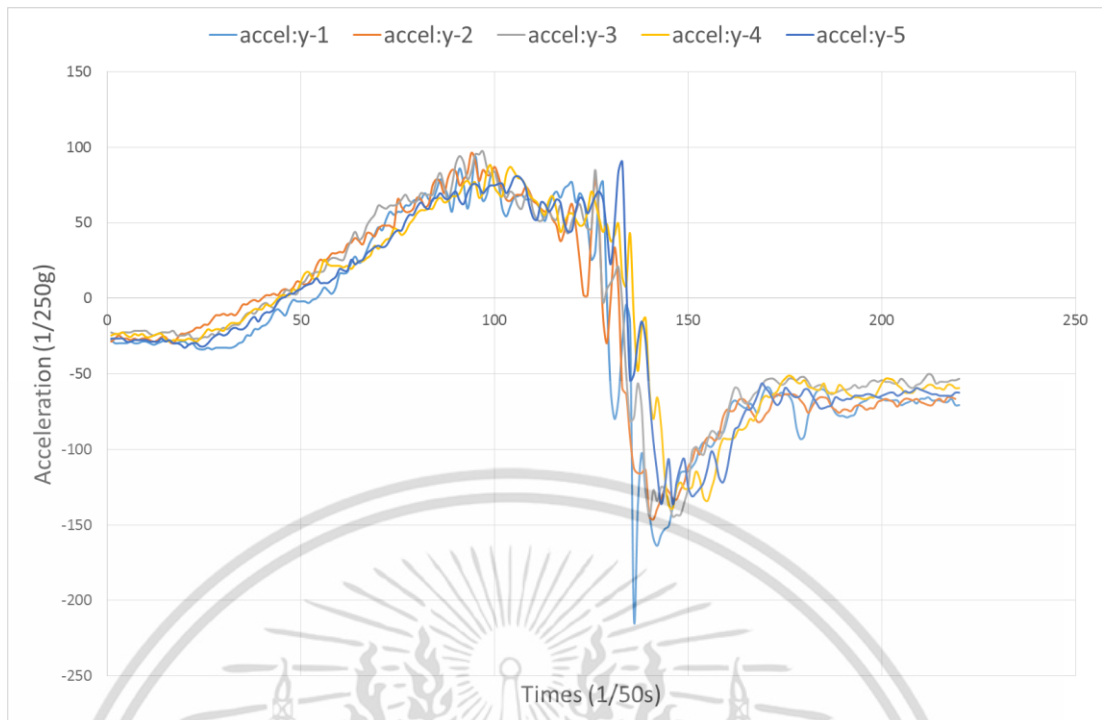


รูปที่ 4.11 ข้อมูลการบิดหมุน pitch ที่กล้ำเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง

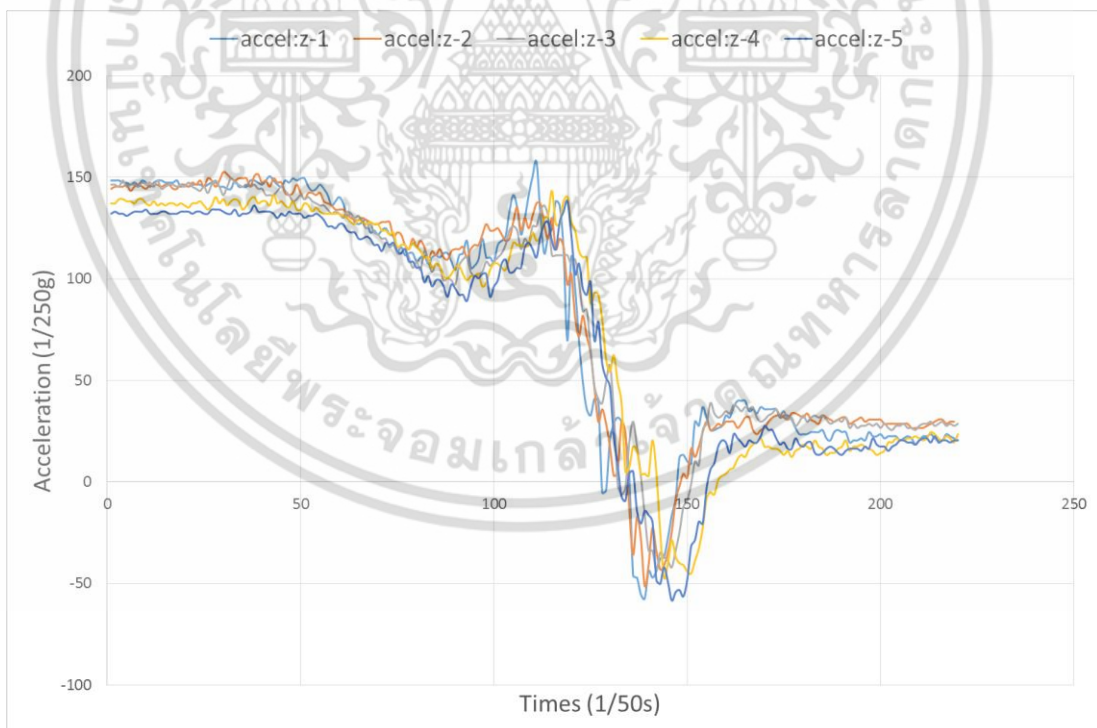


รูปที่ 4.12 ข้อมูลความเร่ง accel:x ที่กล้ำเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 ข้อมูลความเร่ง accel:y ที่กล้ำเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง



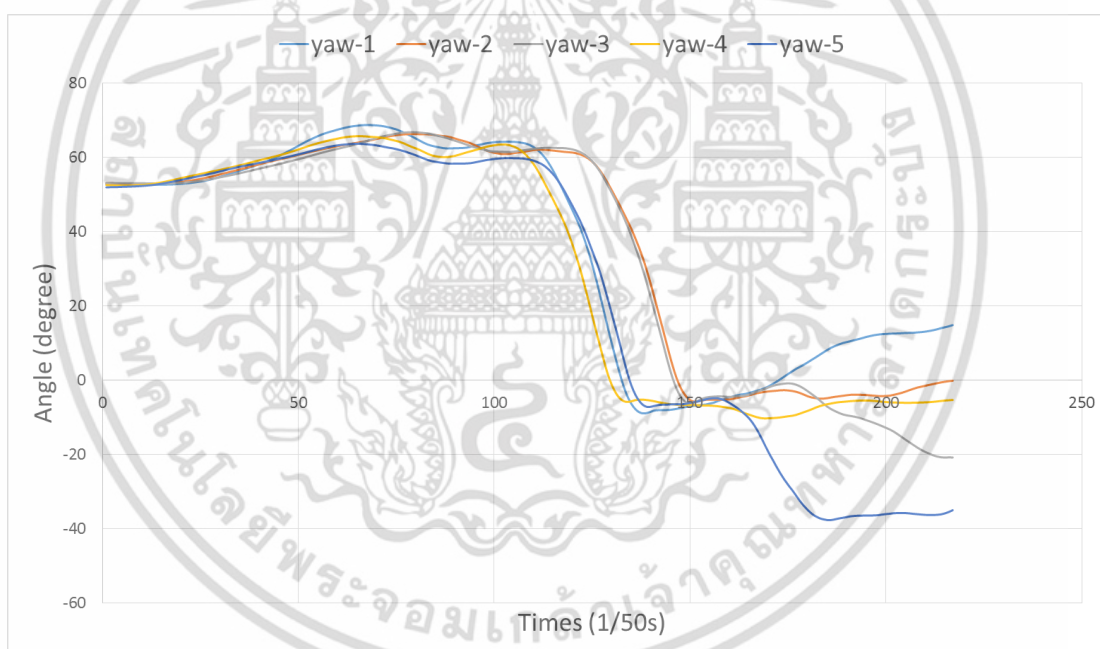
รูปที่ 4.14 ข้อมูลความเร่ง accel:z ที่กล้ำเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3 ถึงรูปที่ 4.14 พบว่าช่วงเวลาที่มีการออกแรงมากที่สุดคือช่วงเหวี่ยงไม้ลง ข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดในช่วงเวลาที่ 100-160 ในแต่ละชุดจากการสวิง 5 ครั้ง ข้อมูลมีรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน แต่มีบางช่วงเวลาที่แตกต่างกัน เช่นข้อมูลการบิดหมุนที่กล้ามเนื้อหลังบน จะเห็นได้ว่าการสวิงครั้งที่ 2 และ 3 ดังรูปที่ 4.3 ถึงรูปที่ 4.5 มีการใช้เวลาในช่วง 50-100 มากกว่าครั้งอื่นๆ ซึ่งจุดนี้ทำให้การเปรียบเทียบข้อมูล 2 ชุดตามเวลาในแนวแกน x เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้น ในส่วนข้อมูลความเร่งจะสังเกตเห็นได้ชัดเจนว่ามีการแกว่งของข้อมูล อันเนื่องมาจากการเกร็งและการผ่อนของกล้ามเนื้อมากกว่าการบิดหมุน ดังนั้นเพื่อการนำไปคำนวณรูปแบบหรือเปรียบเทียบชุดข้อมูล จำเป็นต้องปรับปรุงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมก่อนเพื่อลดความคลาดเคลื่อนที่จะเกิดขึ้นได้

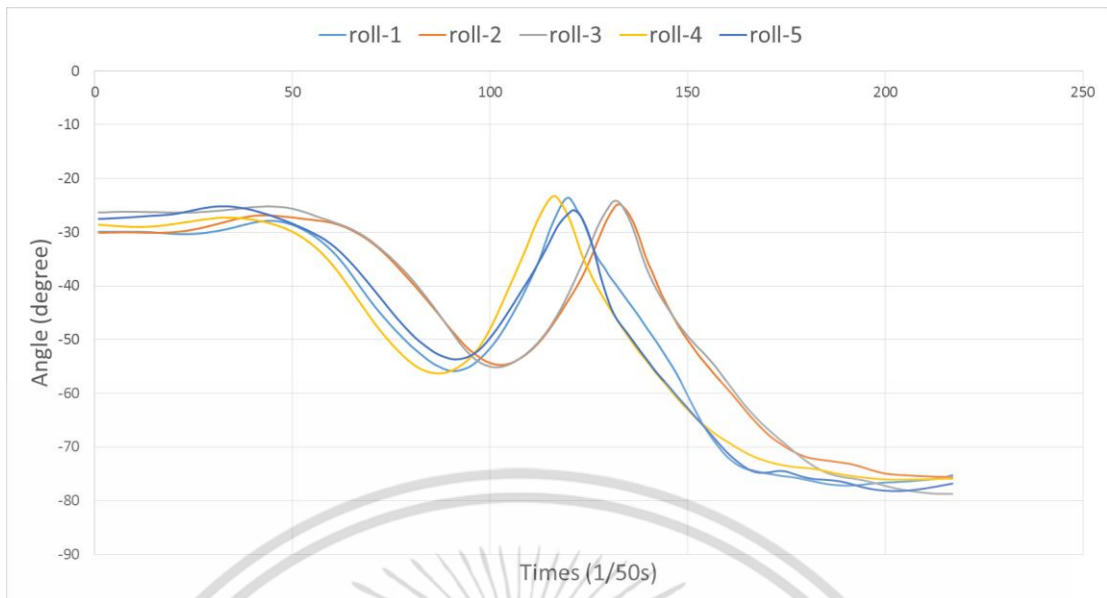
4.2.2 การลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูล

ผลการทดสอบการปรับข้อมูลจากขั้นตอนที่ 1 แสดงดังรูปที่ 4.15 ถึงรูปที่ 4.26

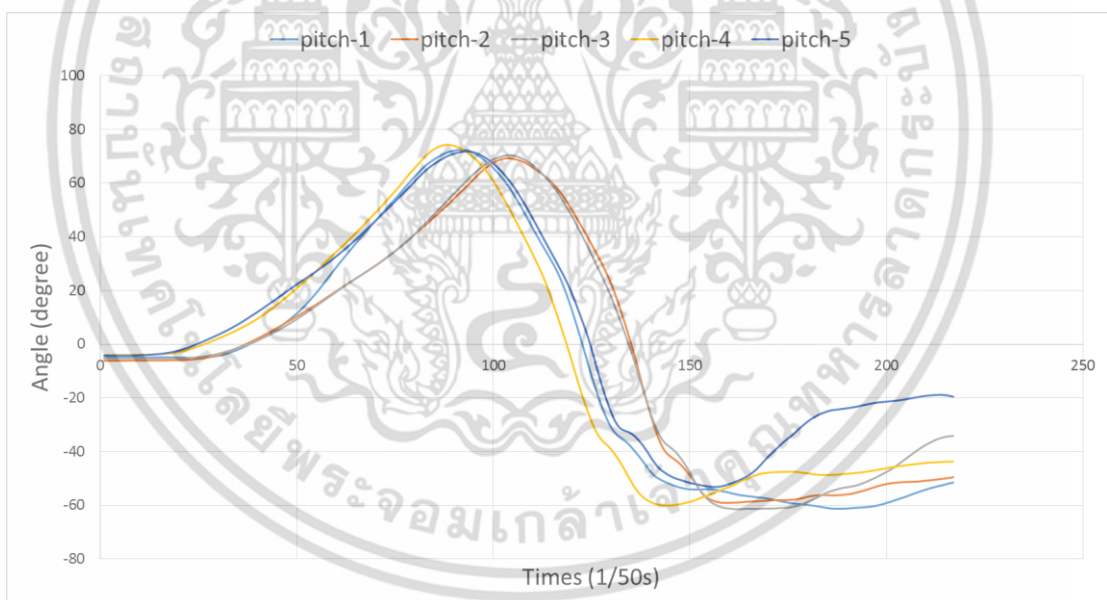


รูปที่ 4.15 ข้อมูลการบิดหมุน yaw ที่กล้ามเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง
จากการลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

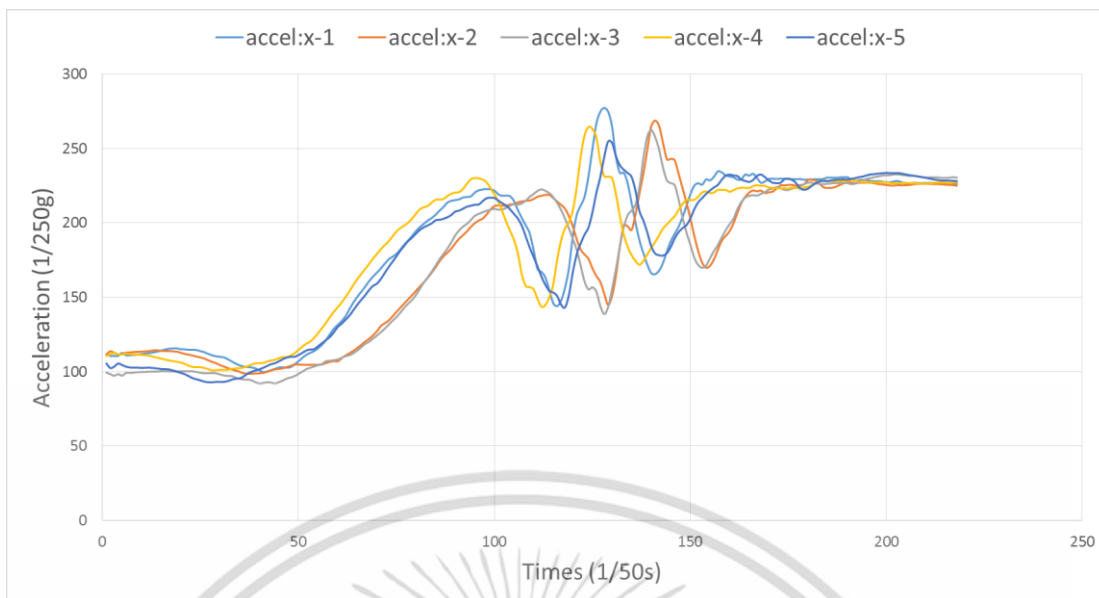


รูปที่ 4.16 ข้อมูลการบิดหมุน roll ที่กล้ำมเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง
จากการลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูล

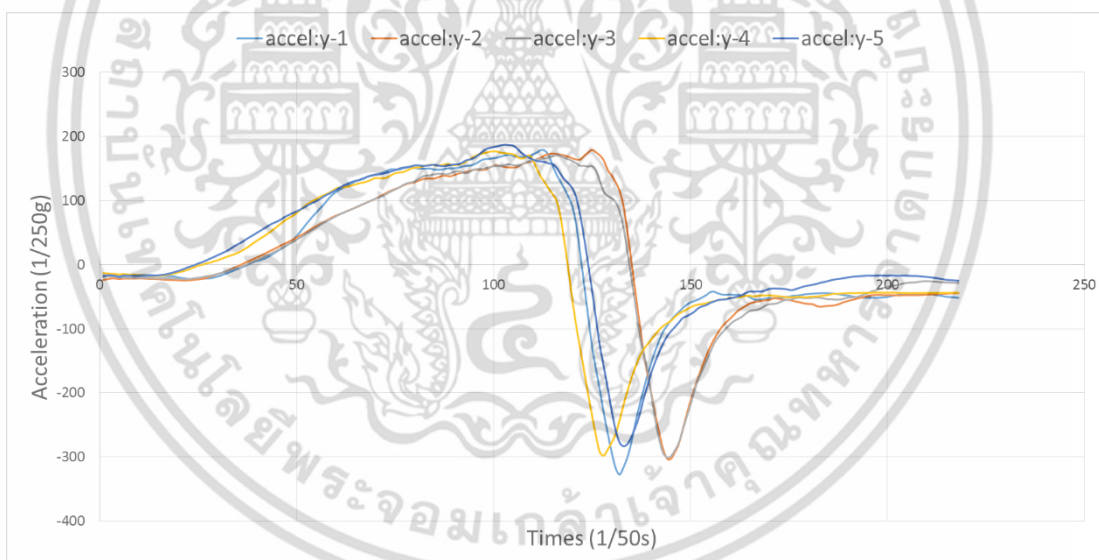


รูปที่ 4.17 ข้อมูลการบิดหมุน pitch ที่กล้ำมเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง
จากการลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

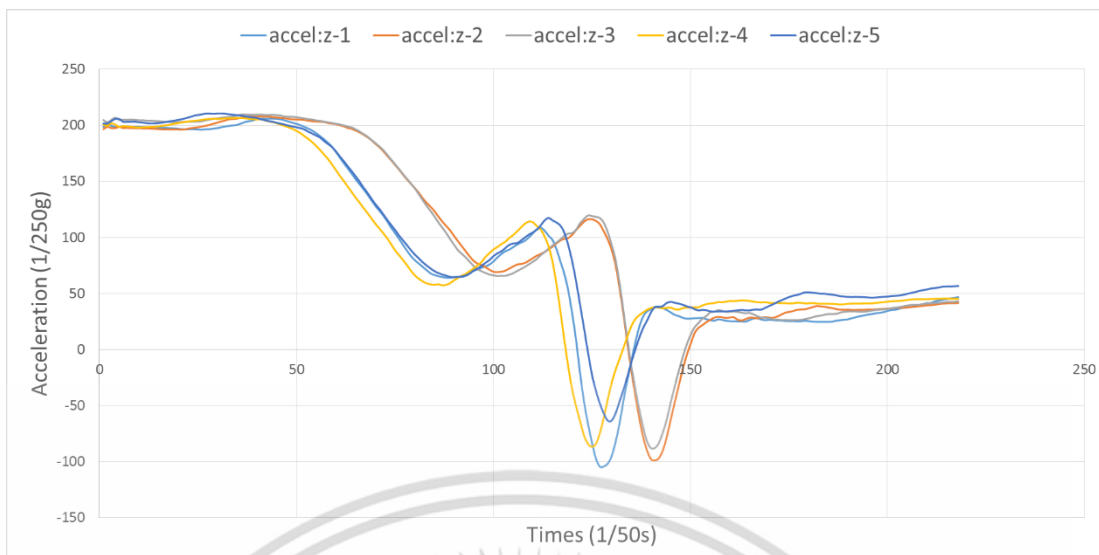


รูปที่ 4.18 ข้อมูลความเร่ง accel:x ที่กล้ำมเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง
จากการลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูล

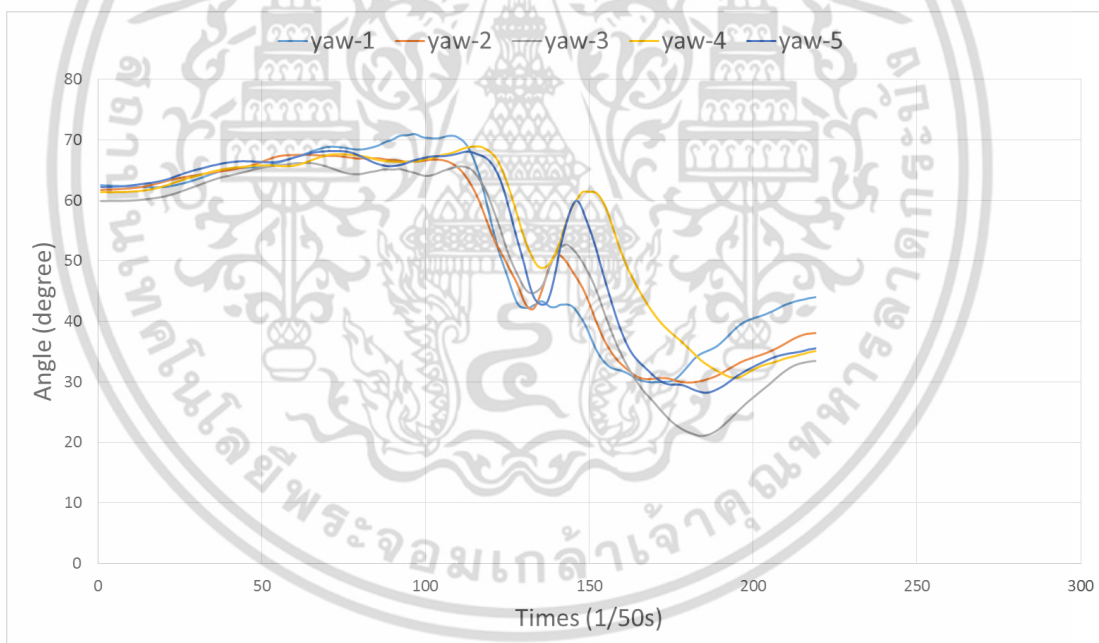


รูปที่ 4.19 ข้อมูลความเร่ง accel:y ที่กล้ำมเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง
จากการลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

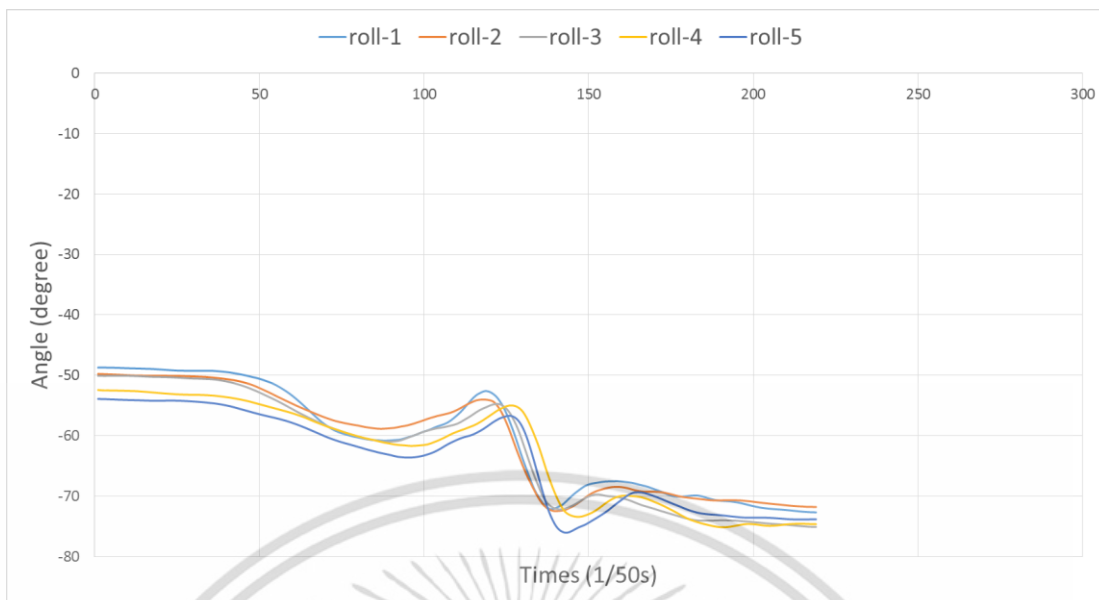


รูปที่ 4.20 ข้อมูลความเร่ง accel:z ที่กล้ำเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง
จากการลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูล

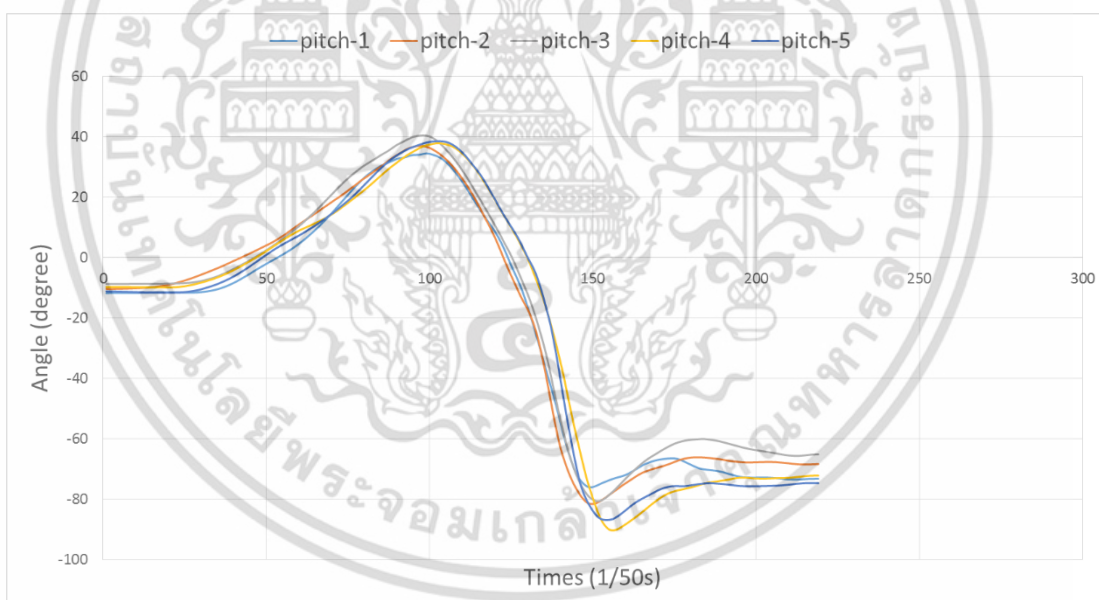


รูปที่ 4.21 ข้อมูลการบิดหมุน yaw ที่กล้ำเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง
จากการลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

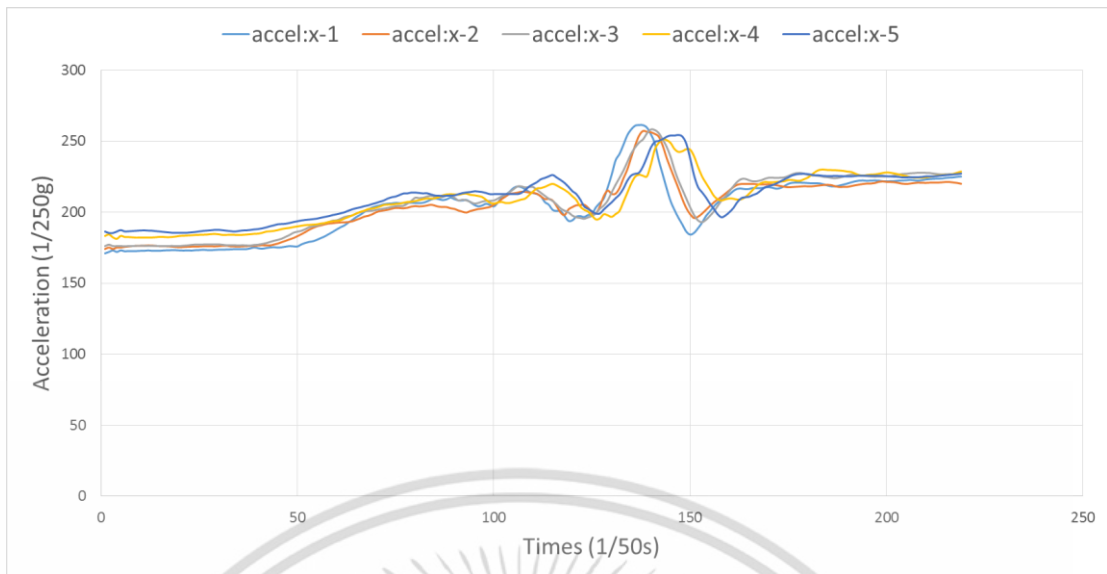


รูปที่ 4.22 ข้อมูลการบิดหมุน roll ที่กล้ำเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง
จากการลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูล

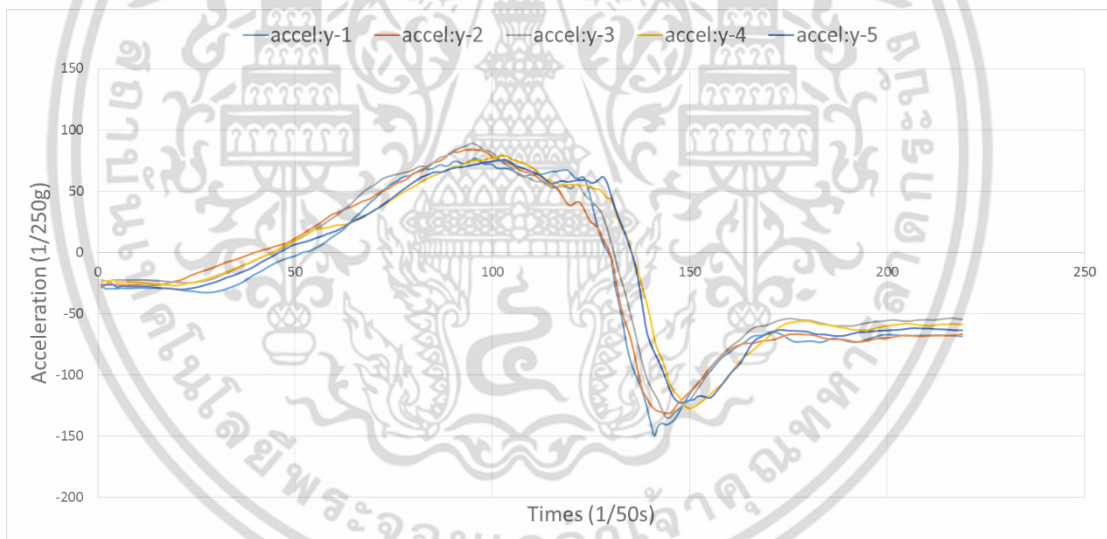


รูปที่ 4.23 ข้อมูลการบิดหมุน pitch ที่กล้ำเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง
จากการลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

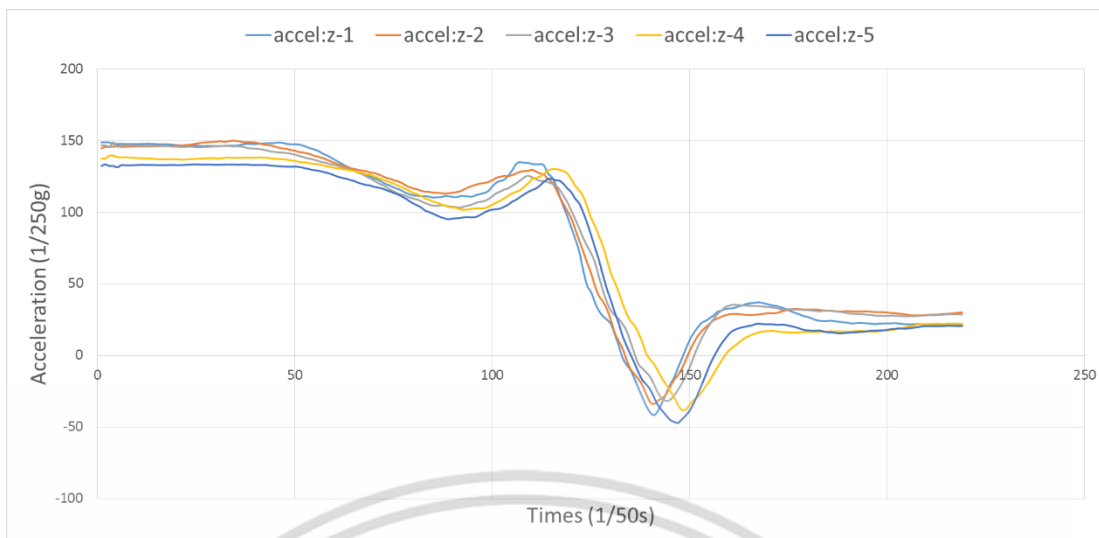


รูปที่ 4.24 ข้อมูลความเร่ง accel:x ที่กลั่นเนื้อหลังล้างจำนวน 5 ครั้ง
จากการลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูล



รูปที่ 4.25 ข้อมูลความเร่ง accel:y ที่กลั่นเนื้อหลังล้างจำนวน 5 ครั้ง
จากการลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 ข้อมูลความเร่ง accel:z ที่กล่อมเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง
จากการลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูล

จากรูปที่ 4.15 ถึงรูปที่ 4.26 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลในแต่ละช่วงเวลาหรือแกน x มีการแกว่งของข้อมูลในแนวแกน y น้อยลง โดยขั้นตอนนี้ แม้ว่าจะช่วยให้สังเกตเห็นรูปแบบของข้อมูลได้ชัดเจนยิ่งขึ้น แต่ก็ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นเล็กน้อย ดังตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ความคลาดเคลื่อนจากขั้นตอนการปรับข้อมูลโดยการเฉลี่ยชุดข้อมูลที่หลังส่วนบน

ครั้งที่	yaw	roll	pitch	accel:x	accel:y	accel:z
1	2.6538	0.5192	1.6292	4.9825	15.6768	11.6949
2	4.1558	0.3973	2.6201	4.7823	13.5773	10.1576
3	3.8440	0.3922	1.8177	4.3751	13.6320	9.3297
4	2.5407	0.4097	1.5936	4.6431	13.5942	9.7942
5	2.3307	0.4097	1.9818	4.0370	12.3718	8.5162
เฉลี่ย	3.1050	0.4256	1.9285	4.5640	13.7704	9.8985

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

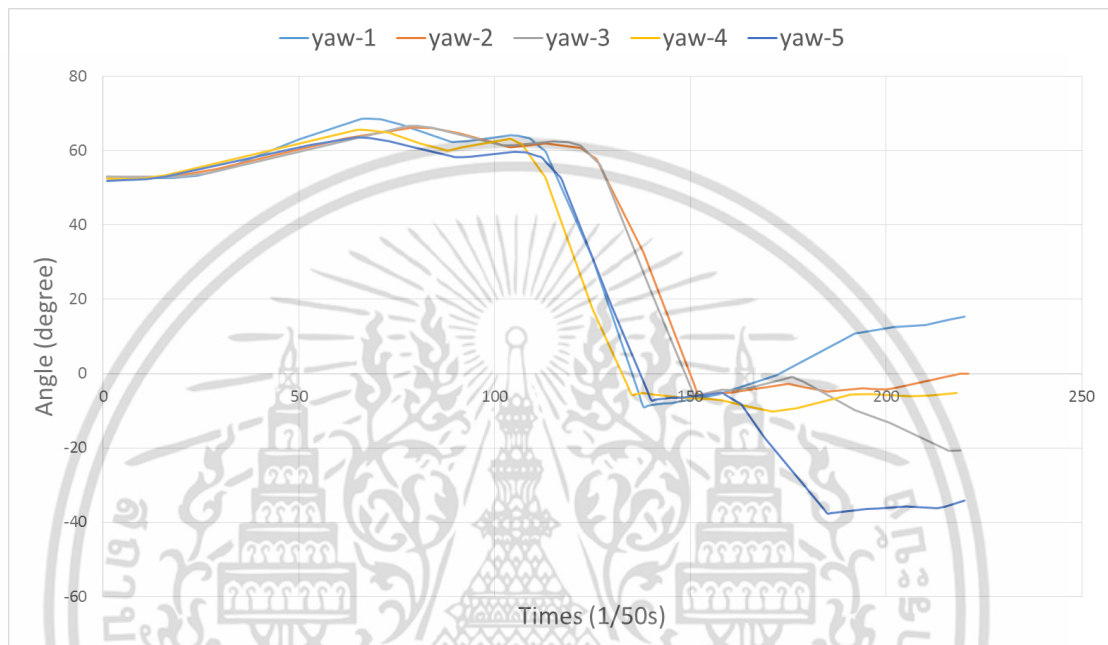
ตารางที่ 4.2 ความคลาดเคลื่อนจากขั้นตอนการปรับข้อมูลโดยการเฉลี่ยชุดข้อมูลที่หลังส่วนล่าง

ครั้งที่	yaw	roll	pitch	accel:x	accel:y	accel:z
1	0.6190	0.1710	2.7684	2.3625	15.9132	13.6574
2	0.4786	0.1336	1.9885	2.1802	16.4003	9.8637
3	0.4176	0.1514	1.4478	1.8723	13.3539	11.9136
4	0.3690	0.1415	1.6732	2.3399	11.4021	12.3907
5	0.5348	0.1519	2.2633	1.9488	12.5572	12.0147
เฉลี่ย	0.4838	0.1499	2.0282	2.1407	13.9253	11.9680

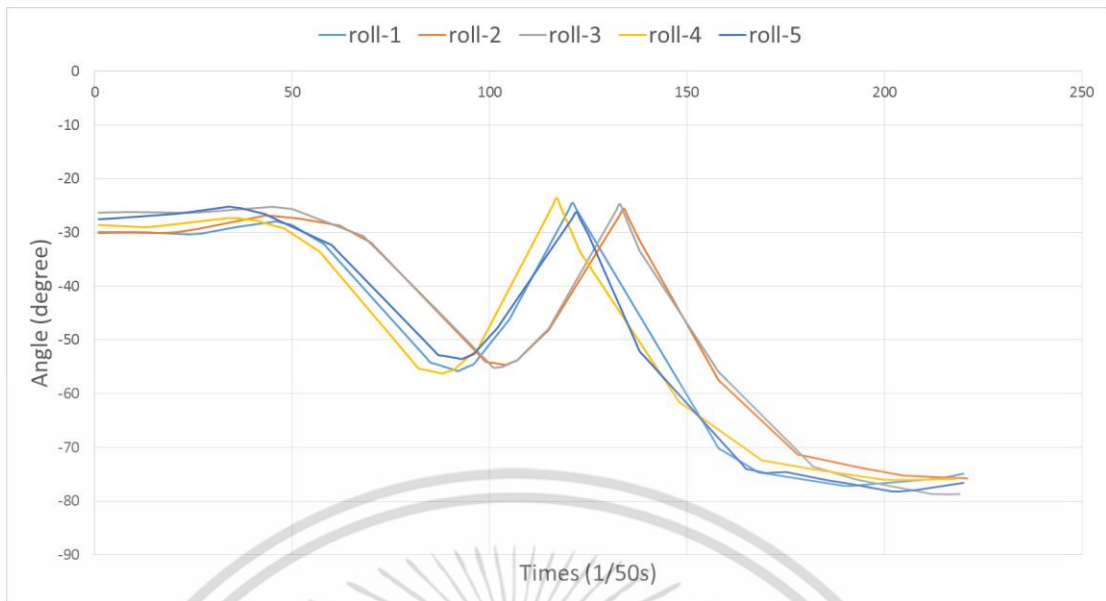
การเฉลี่ยด้วยค่า N นั้น ยิ่งจากการทดลองพบว่ายิ่ง N มาก ทำให้รูปแบบของข้อมูลสังเกตได้ง่ายขึ้น แต่ก็ทำให้ความคลาดเคลื่อนมากขึ้นด้วยเช่นกัน (ดังแสดงที่ตารางภาคผนวก) จากตารางที่ 4.1 และ 4.2 จะเห็นว่าการใช้ค่าเฉลี่ย $N = 3$ สำหรับข้อมูลการบิดหมุน และ $N = 5$ นั้น ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนที่แตกต่างกันออกไป ข้อมูลทั้ง 6 ชุดที่หลังส่วนบนล้วนแต่เกาะกลุ่มความคลาดเคลื่อนในทิศทางเดียวกัน โดยข้อมูล roll เกิดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด และ accel:y เกิดความคลาดเคลื่อนมากที่สุด ปัจจัยที่ส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนคือการแกว่งของข้อมูล หรือการเพิ่มขึ้นและลดลงของค่าข้อมูลในแนวแกน y ต่อข้อมูลแกน x ในช่วงเวลาสั้นๆ อันเนื่องจากการเกร็งและผ่อนกล้ามเนื้อ หากข้อมูลมีการแกว่งมาก จะเกิดความคลาดเคลื่อนที่ขั้นตอนนี้มาก

4.2.3 การปรับข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้นในแต่ละช่วงเวลา

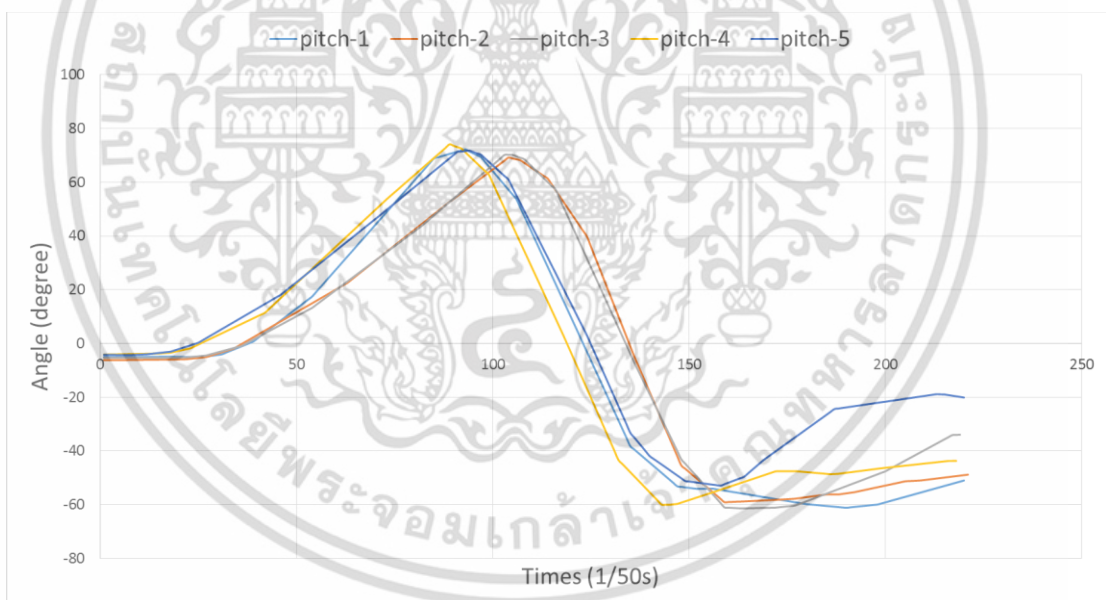
เป็นการนำผลการลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูล มาปรับข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้นในแต่ละช่วงเวลา ข้อมูลจะถูกแบ่งกลุ่มตามอัตราการเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลา และปรับให้อยู่ในรูปของส่วนของเส้นตรงหลายๆเส้นใน 1 ชุดข้อมูล แสดงกราฟดังรูปที่ 4.27 ถึงรูปที่ 4.38



รูปที่ 4.27 ข้อมูลการบิดหมุน yaw ที่กล้ำมเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง จากขั้นตอนการปรับข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้น

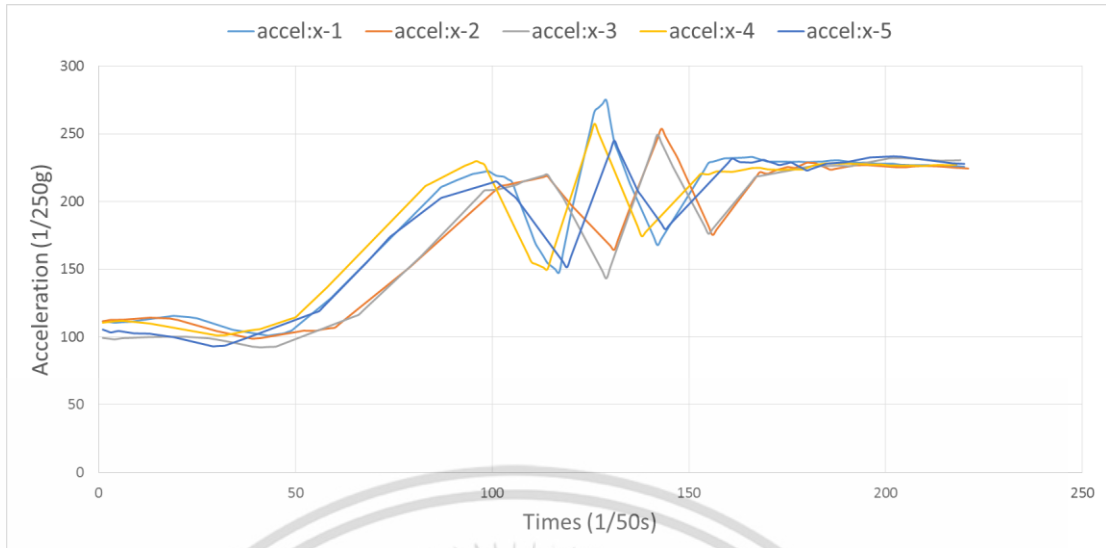


รูปที่ 4.28 ข้อมูลการบิดหมุน roll ที่กล้ำเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง
จากขั้นตอนการปรับข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้น

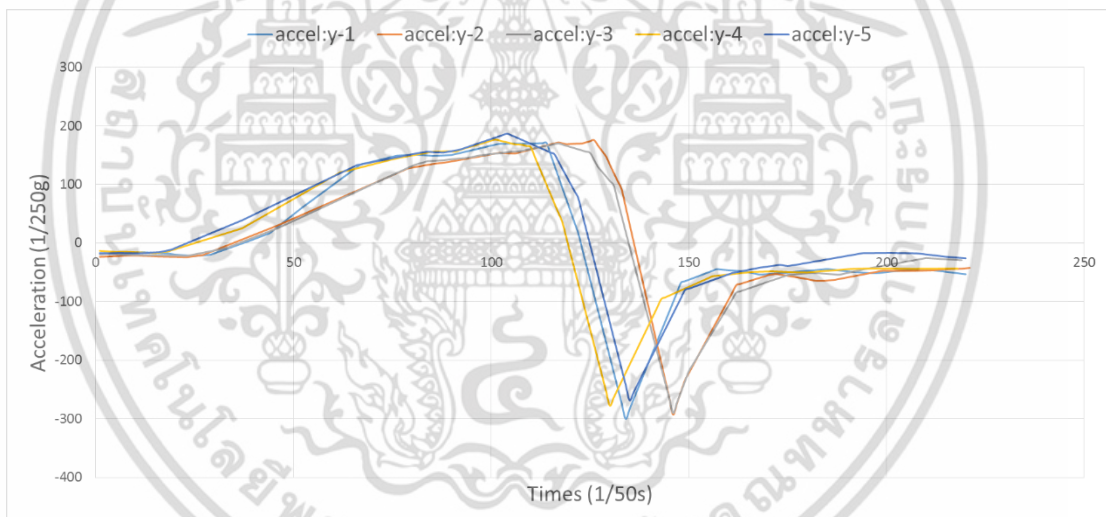


รูปที่ 4.29 ข้อมูลการบิดหมุน pitch ที่กล้ำเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง
จากขั้นตอนการปรับข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

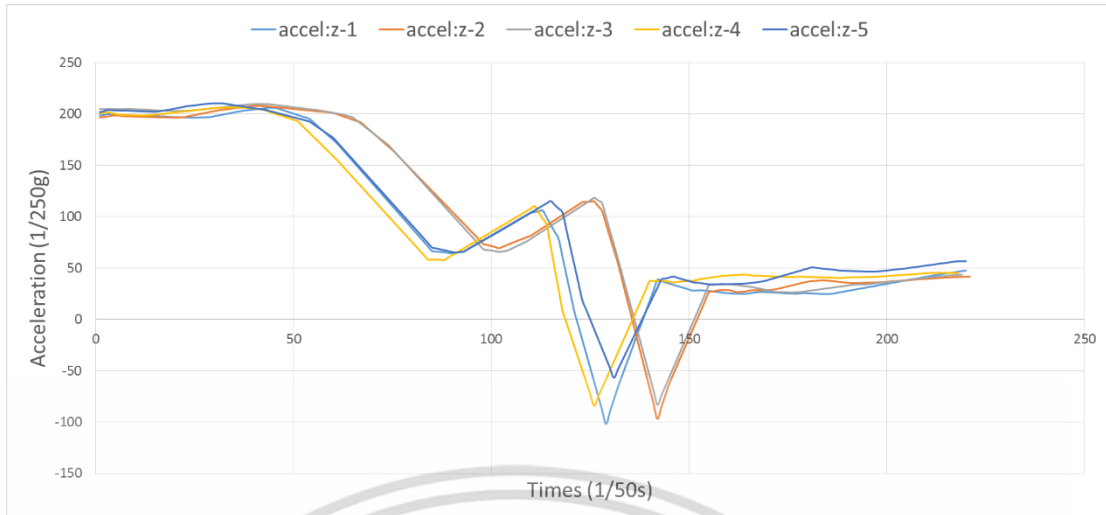


รูปที่ 4.30 ข้อมูลความเร่ง accel:x ที่กล้ำมเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง
จากขั้นตอนการปรับข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้น

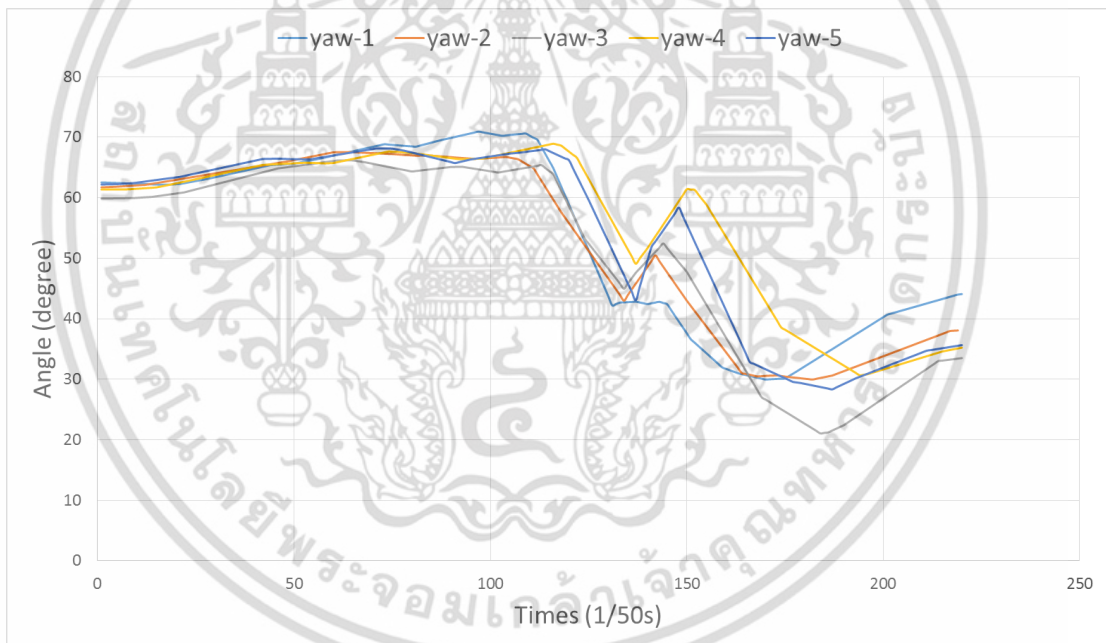


รูปที่ 4.31 ข้อมูลความเร่ง accel:y ที่กล้ำมเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง
จากขั้นตอนการปรับข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

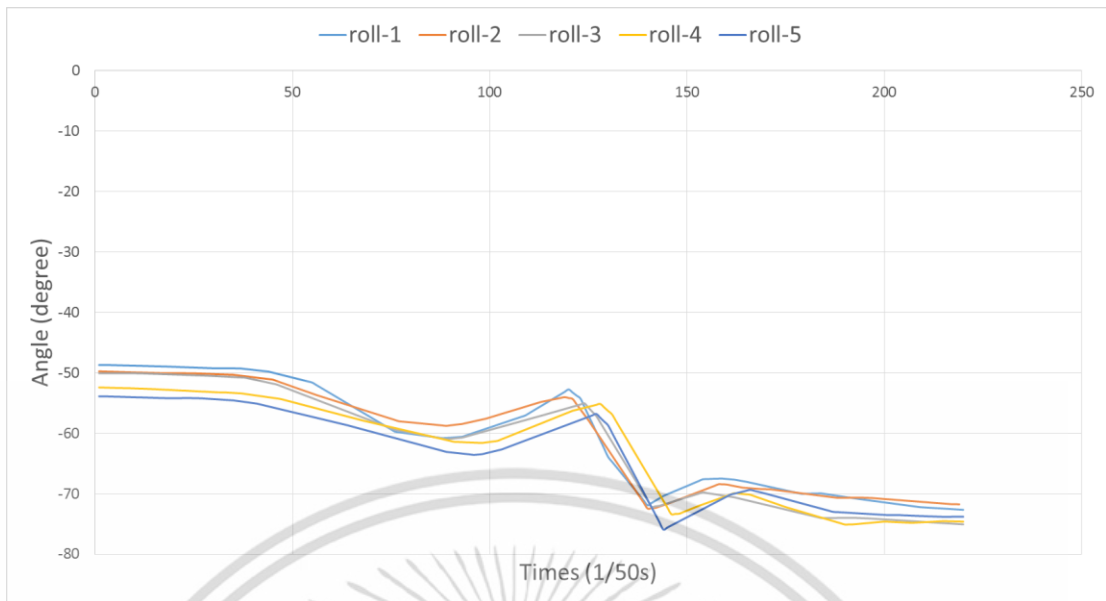


รูปที่ 4.32 ข้อมูลความเร่ง accel:z ที่กล้ำมเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง จากขั้นตอนการปรับข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้น

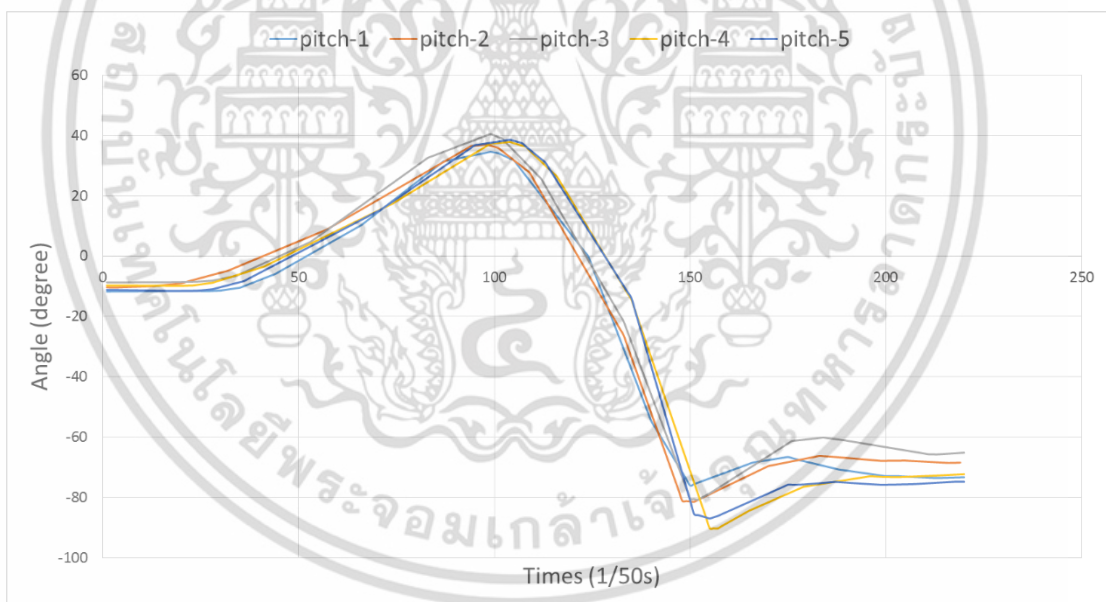


รูปที่ 4.33 ข้อมูลการบิดหมุน yaw ที่กล้ำมเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง จากขั้นตอนการปรับข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

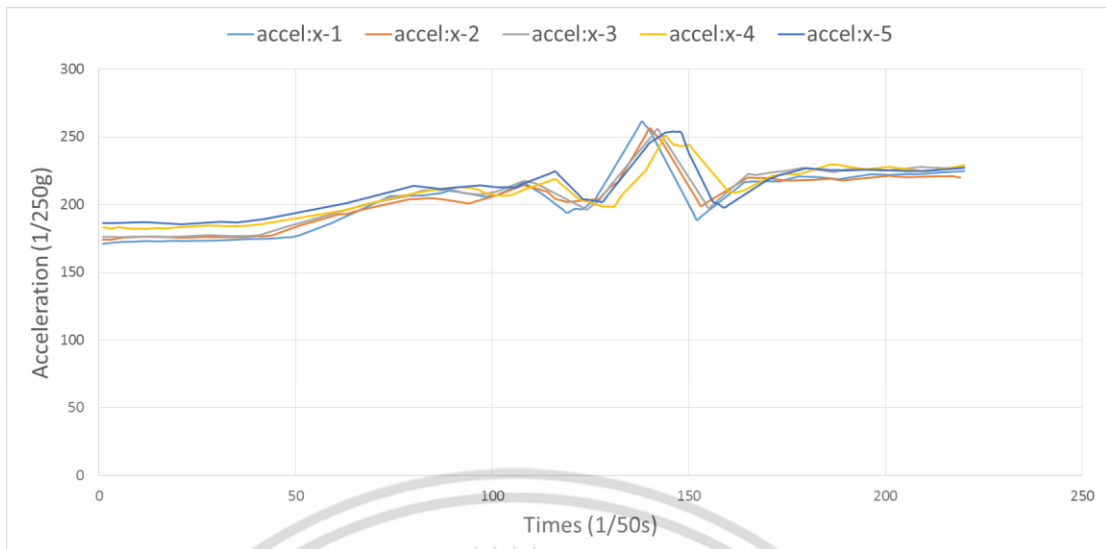


รูปที่ 4.34 ข้อมูลการบิดหมุน roll ที่กล้ำเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง จากขั้นตอนการปรับข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้น

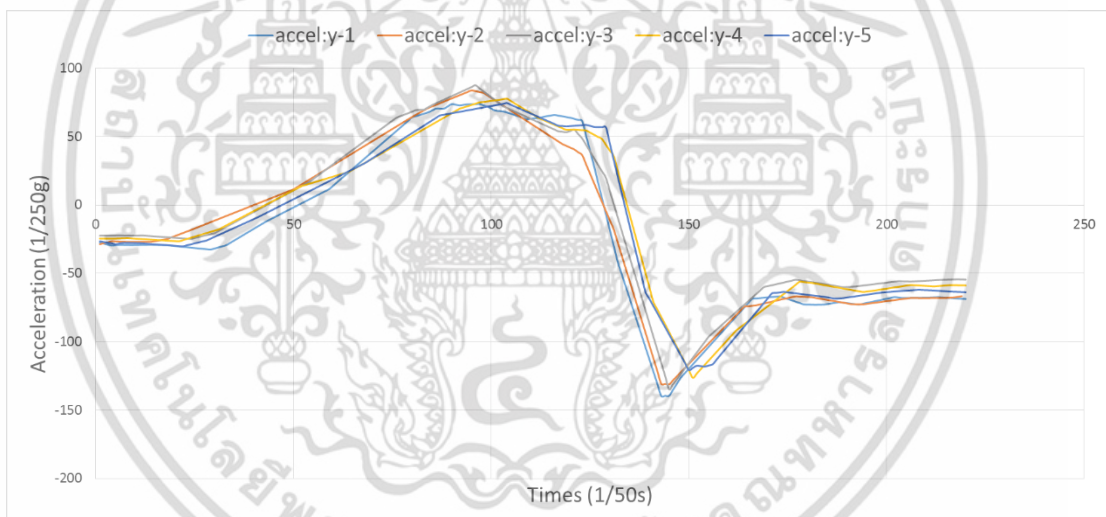


รูปที่ 4.35 ข้อมูลการบิดหมุน pitch ที่กล้ำเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง จากขั้นตอนการปรับข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

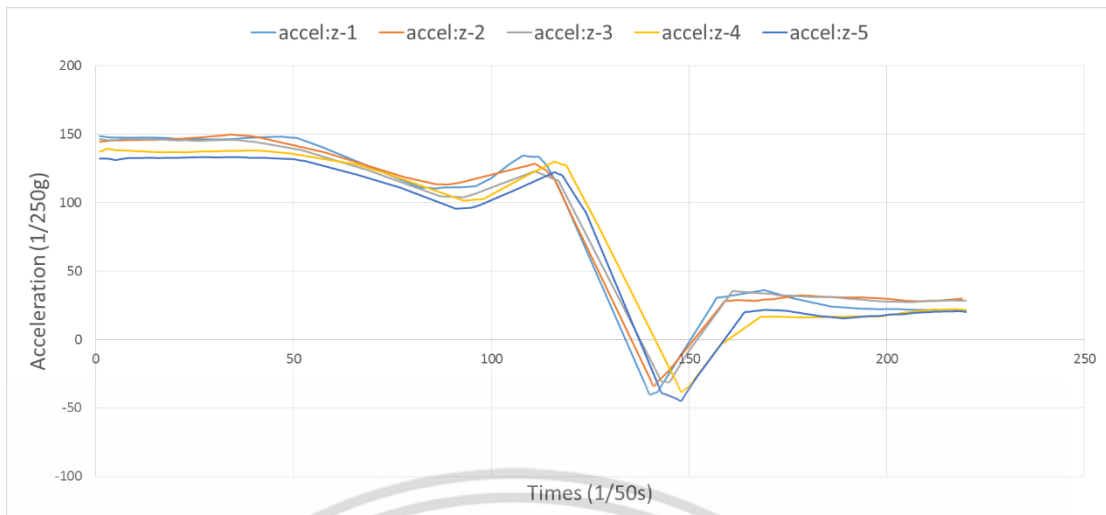


รูปที่ 4.36 ข้อมูลความเร่ง accel:x ที่กลั่นเนื้อหลังล้างจำนวน 5 ครั้ง
จากขั้นตอนการปรับข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้น



รูปที่ 4.37 ข้อมูลความเร่ง accel:y ที่กลั่นเนื้อหลังล้างจำนวน 5 ครั้ง
จากขั้นตอนการปรับข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.38 ข้อมูลความเร่ง accel:z ที่กล้ำเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง จากขั้นตอนการปรับข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้น

ในขั้นตอนที่ 2 นี้จะปรับให้ข้อมูลการสวิงกอล์ฟอยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้นหลายๆเส้นประกอบกัน ซึ่งการปรับนี้ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลเดิม (ข้อมูลจากขั้นตอนการเฉลี่ยด้วย N) ขึ้นดังตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 ความคลาดเคลื่อนจากขั้นตอนที่ 2 ข้อมูลที่หลังส่วนบน

ครั้งที่	yaw	roll	pitch	accel:x	accel:y	accel:z
1	8.4167	1.1825	7.6300	1.1854	8.1017	8.1940
2	9.8141	1.3158	7.9887	1.7799	9.9904	9.1835
3	8.2565	1.6006	8.1434	1.7253	8.2004	10.1819
4	6.3912	1.3451	8.4457	1.3876	10.2512	9.0963
5	6.2813	1.2771	7.1147	1.6020	11.0421	9.3863
เฉลี่ย	7.8320	1.3442	7.8645	1.0472	0.3963	8.8288

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

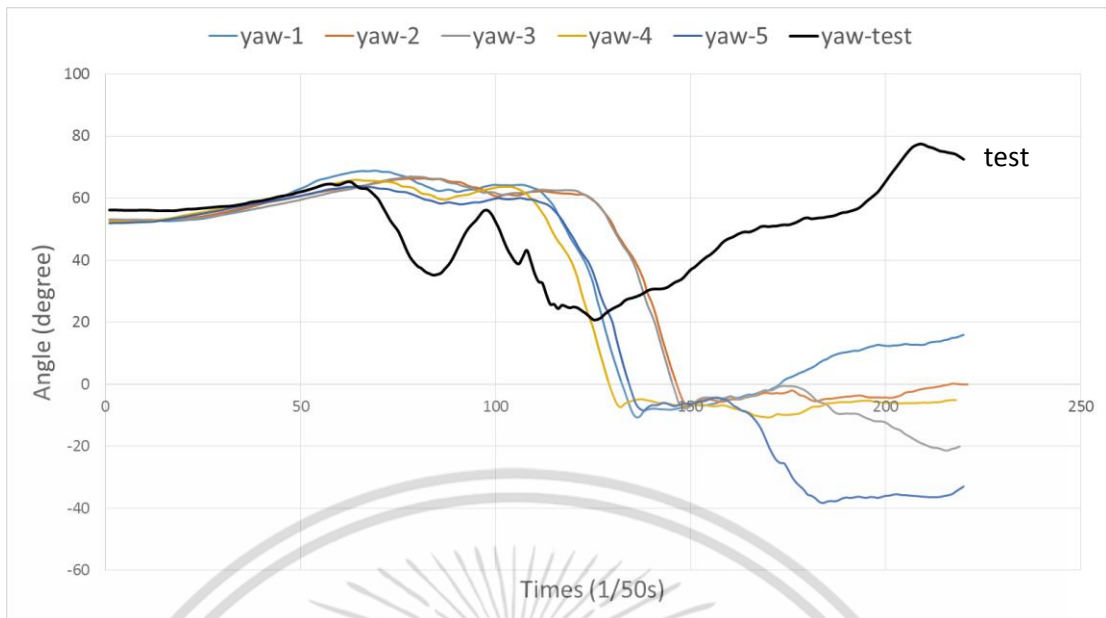
ตารางที่ 4.4 ความคลาดเคลื่อนจากขั้นตอนที่ 2 ข้อมูลที่หลังส่วนล่าง

ครั้งที่	yaw	roll	pitch	accel:x	accel:y	accel:z
1	0.8334	0.3942	7.8673	0.8869	8.1239	9.1210
2	0.8958	0.3909	10.0668	0.6410	7.1609	9.2790
3	1.2158	0.3776	10.5265	0.7554	8.7995	7.5866
4	1.0789	0.3881	6.6955	0.5473	9.1528	9.2825
5	1.2121	0.4305	8.9876	0.4072	9.0243	11.5934
เฉลี่ย	1.0472	0.3963	8.8288	0.6476	8.4523	9.3725

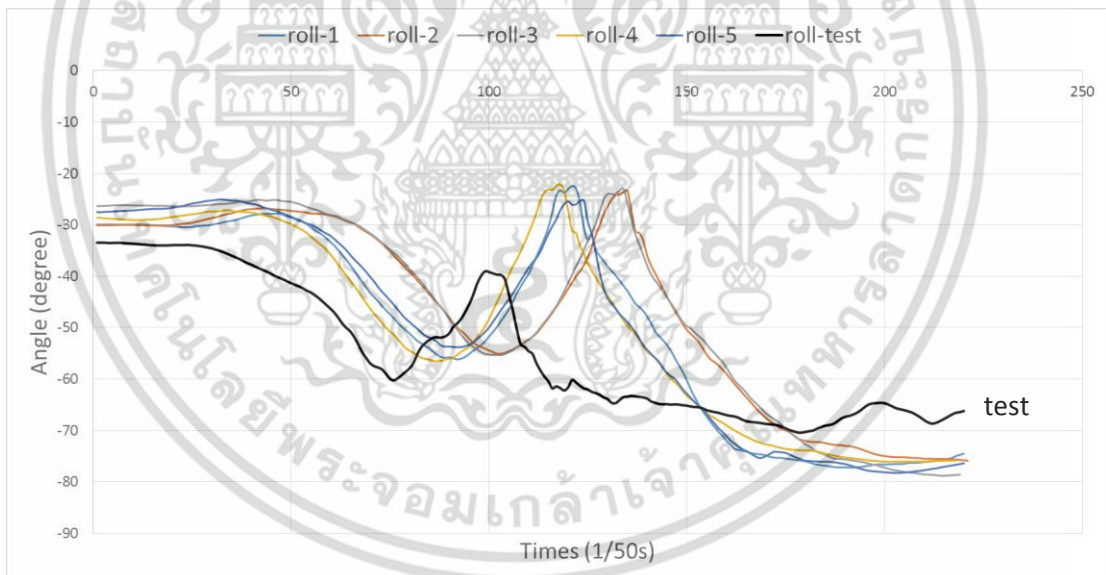
จากการทดลองปรับค่า limit และ limit_mul ให้อยู่ที่ 50% และ 10% ตามลำดับ ทำให้ข้อมูลในช่วงเวลาที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงอยู่ในกลุ่มเดียวกัน ถูกแบ่งกลุ่มตามช่วงเวลาไว้ในกลุ่มเดียวกัน หรือการเคลื่อนไหวในช่วงเวลานั้นถูกเลือกกว่าเป็นการเคลื่อนไหวในท่วงท่าเดียวกัน ทำให้ชุดข้อมูลที่มีการแกว่งของข้อมูลที่สูง ถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้นที่สามารถวัดอัตราการเปลี่ยนแปลงในช่วงนั้นๆ ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อขั้นตอนการเปรียบเทียบขั้นตอนต่อไป

4.2.4 การเปรียบเทียบลักษณะข้อมูล

ในหัวข้อนี้เป็นการเปรียบเทียบการสวิง โดยผู้วิจัยได้ทำการทดสอบโดยการเลือกข้อมูลการสวิงจากผู้ทดสอบคนที่ 2 เลือกการสวิง 1 ครั้งดังรูปที่ 4.39 ถึง 4.50 เปรียบเทียบกับข้อมูลการสวิงจากผู้ทดสอบที่มีประสบการณ์จำนวน 5 ครั้ง ซึ่งในหัวข้อนี้ผู้วิจัยจะแสดงการเปรียบเทียบระหว่างการวัดความเหมือนด้วยขั้นตอนวิธี Cosine Similarity, SMAPE และ CCL เนื่องจากข้อมูลการสวิง (ข้อมูลที่ได้จากการสวิงกอล์ฟโดยตรง ไม่ผ่านขั้นตอนวิธี CCL) มีค่าในแนวแกน y ทั้งบวกและลบ จึงจำเป็นต้องปรับข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสม (normalize) ก่อนการวัดความเหมือนด้วยขั้นตอนวิธี Cosine Similarity ให้อยู่ในช่วง 0-1

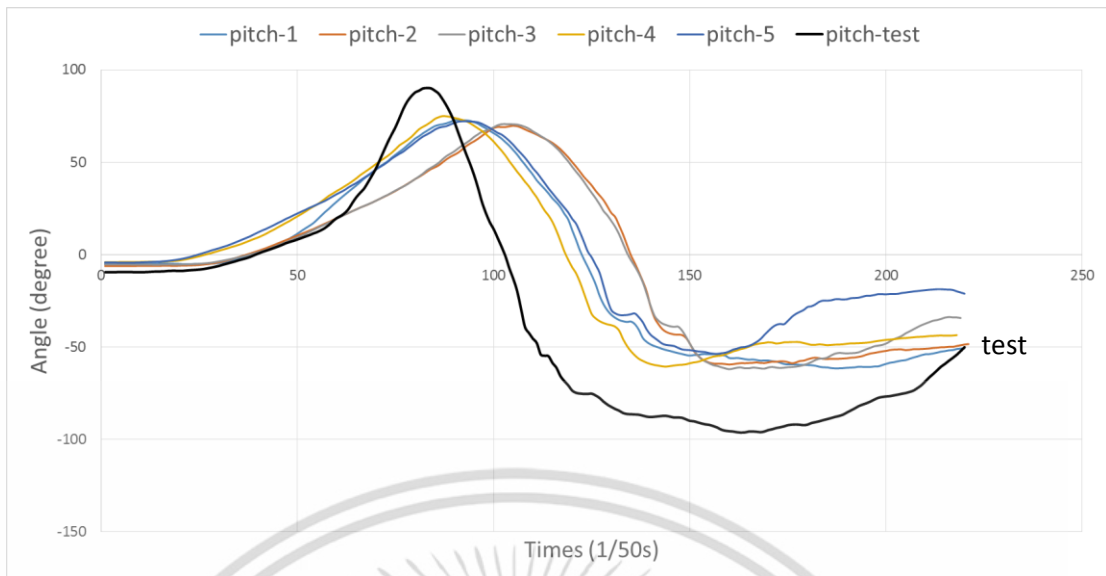


รูปที่ 4.39 ข้อมูลการบิดหมุน yaw ที่กล้ำเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง
เปรียบเทียบกับการสวิงจากผู้ทดสอบที่ 2

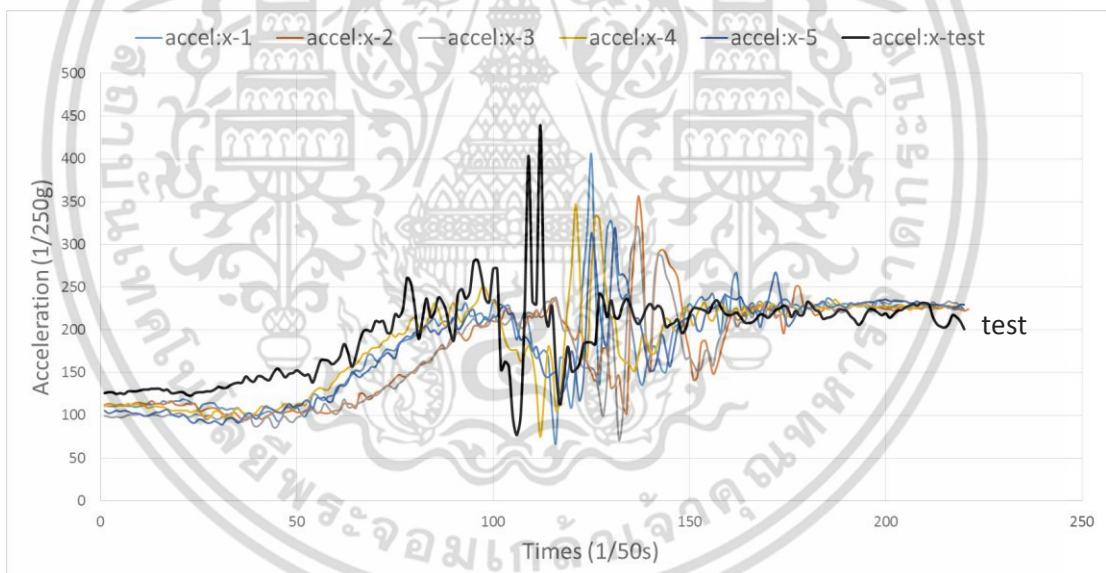


รูปที่ 4.40 ข้อมูลการบิดหมุน roll ที่กล้ำเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง
เปรียบเทียบกับการสวิงจากผู้ทดสอบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

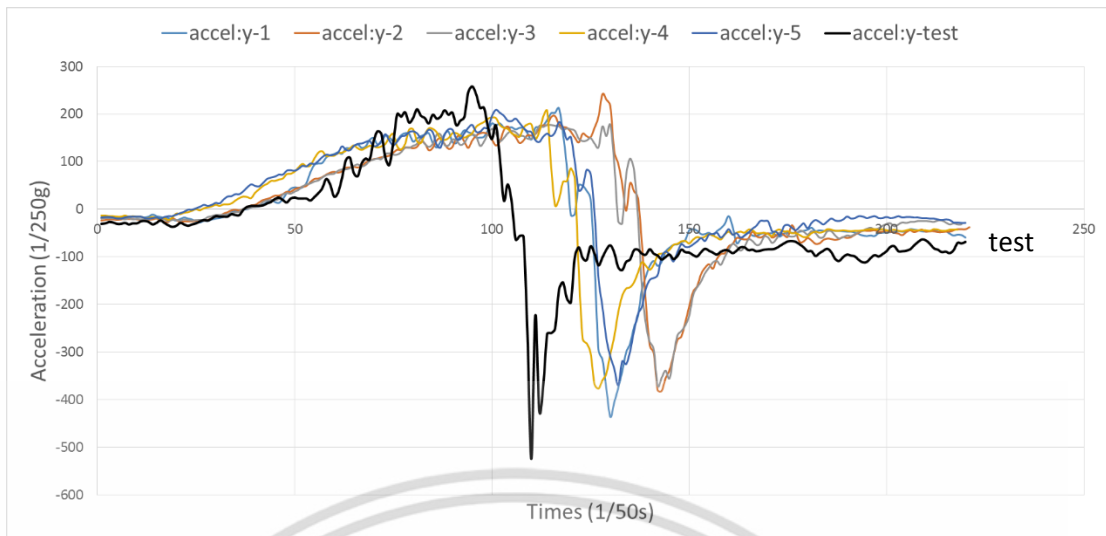


รูปที่ 4.41 ข้อมูลการบิดหมุน pitch ที่กล้ามเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง
เปรียบเทียบกับการสวิงจากผู้ทดสอบที่ 2

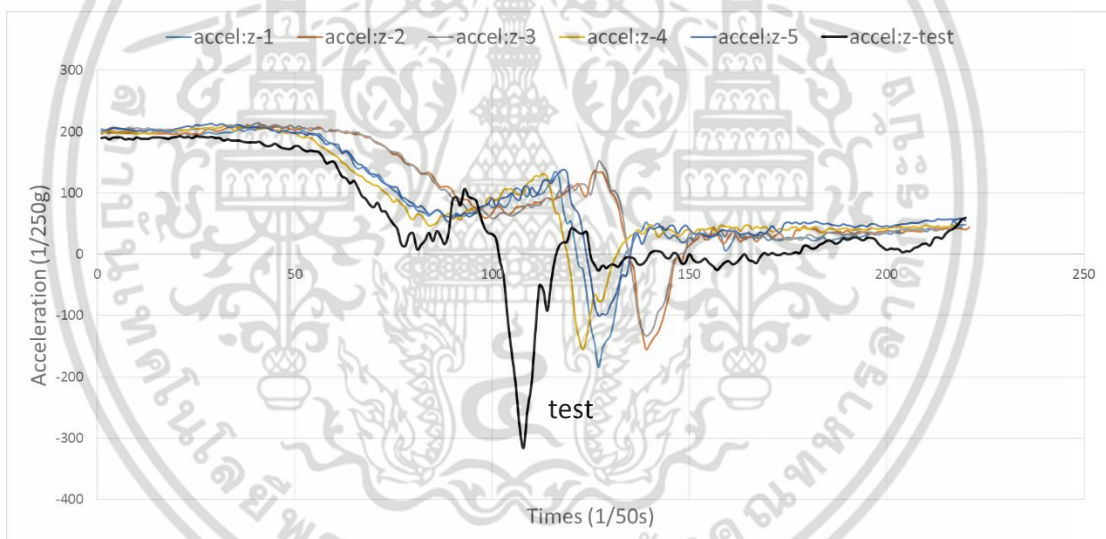


รูปที่ 4.42 ข้อมูลความเร่ง accel:x ที่กล้ามเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง
เปรียบเทียบกับการสวิงจากผู้ทดสอบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

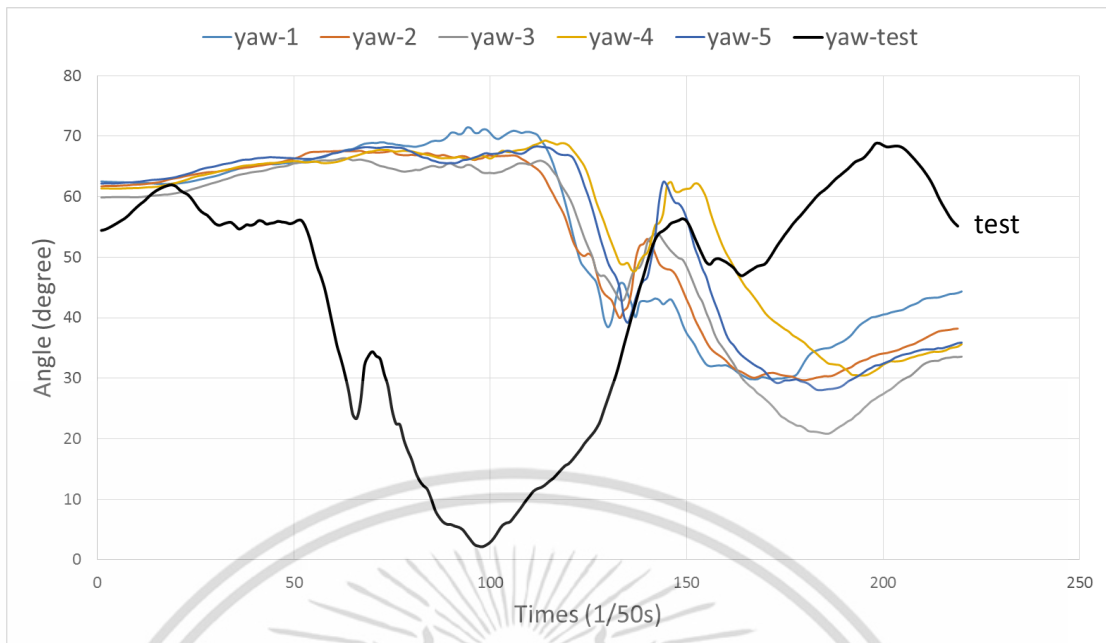


รูปที่ 4.43 ข้อมูลความเร่ง accel:y ที่กล้ำเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง
เปรียบเทียบกับการสวิงจากผู้ทดสอบที่ 2

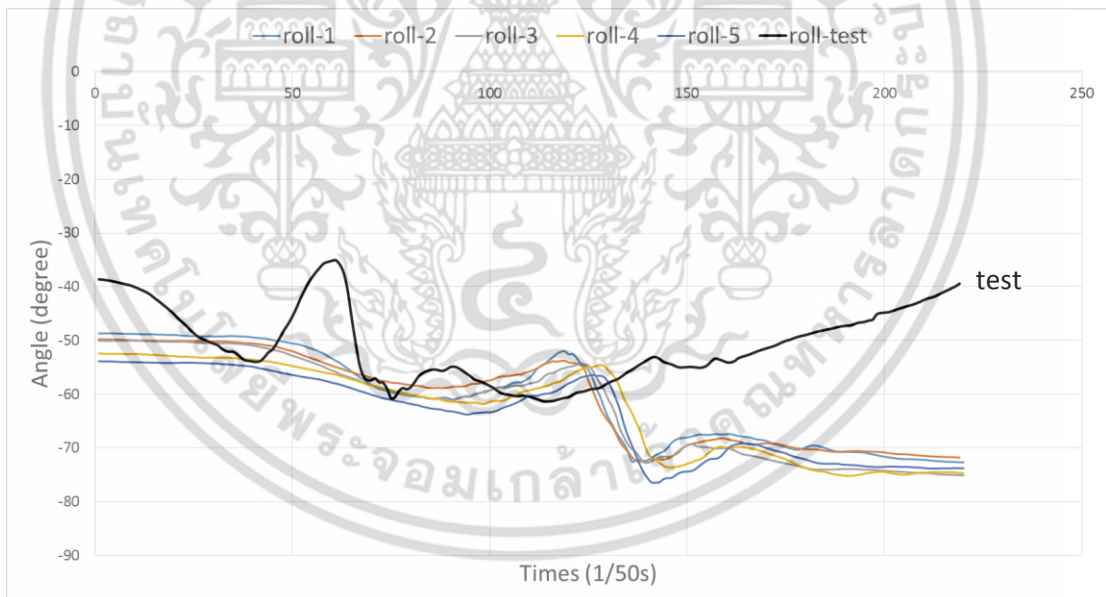


รูปที่ 4.44 ข้อมูลความเร่ง accel:z ที่กล้ำเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง
เปรียบเทียบกับการสวิงจากผู้ทดสอบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

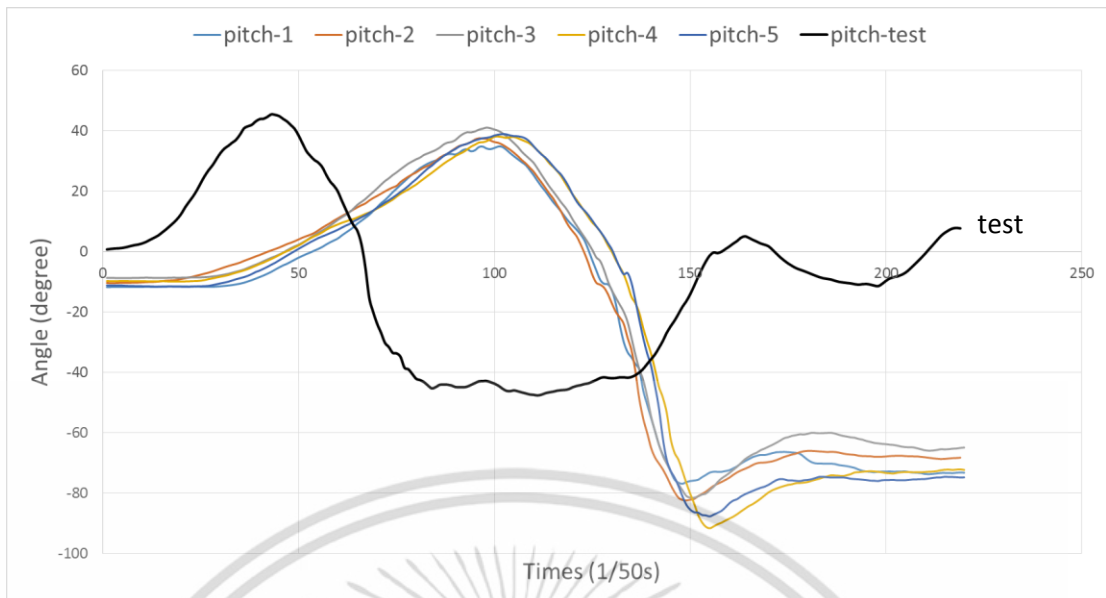


รูปที่ 4.45 ข้อมูลการบิดหมุน yaw ที่กล้ำเนื้อหลังกลางจำนวน 5 ครั้ง
เปรียบเทียบกับการสวิงจากผู้ทดสอบที่ 2

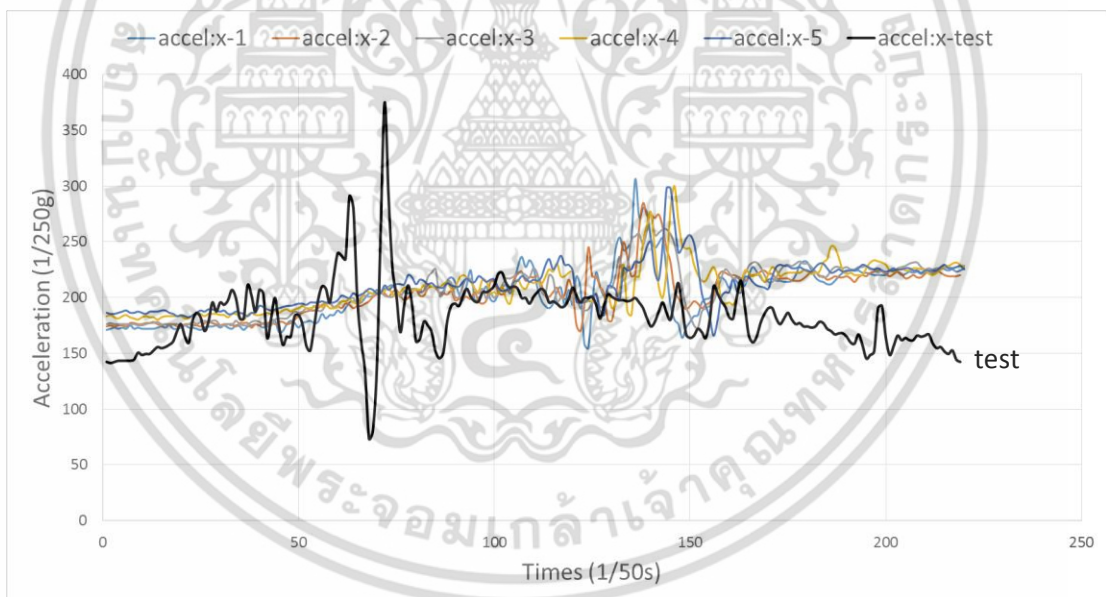


รูปที่ 4.46 ข้อมูลการบิดหมุน roll ที่กล้ำเนื้อหลังกลางจำนวน 5 ครั้ง
เปรียบเทียบกับการสวิงจากผู้ทดสอบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

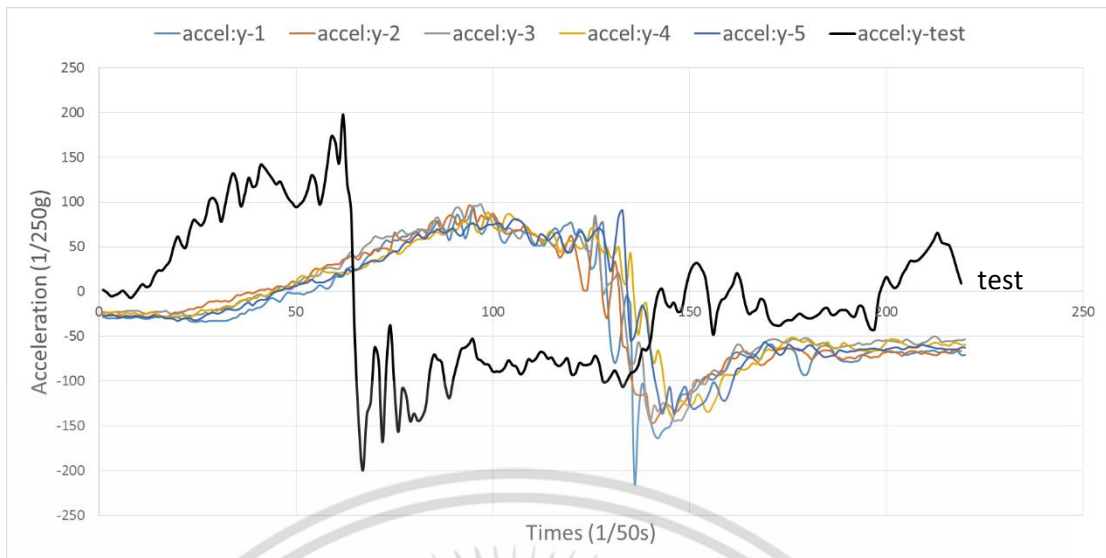


รูปที่ 4.47 ข้อมูลการบิดหมุน pitch ที่กล้ามเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง
เปรียบเทียบกับการสวิตจจากผู้ทดสอบที่ 2

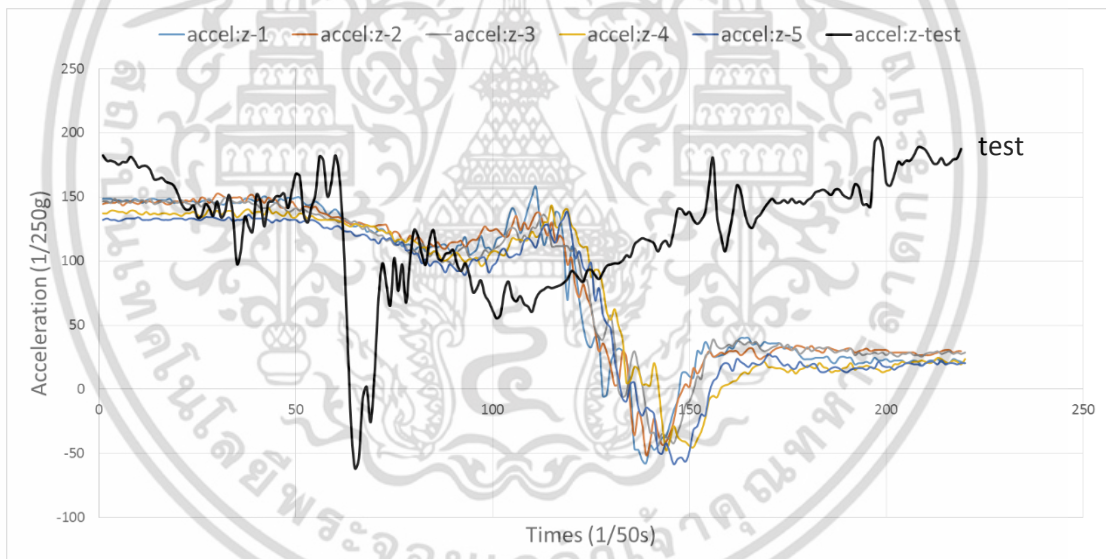


รูปที่ 4.48 ข้อมูลความเร่ง accel:x ที่กล้ามเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง
เปรียบเทียบกับการสวิตจจากผู้ทดสอบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.49 ข้อมูลความเร่ง accel:y ที่กล้ำเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง
เปรียบเทียบกับการสวิตช์จากผู้ทดสอบที่ 2



รูปที่ 4.50 ข้อมูลความเร่ง accel:z ที่กล้ำเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง
เปรียบเทียบกับการสวิตช์จากผู้ทดสอบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.38 ถึงรูปที่ 4.49 เป็นข้อมูลที่วัดได้โดยตรงจากการสวิงกอล์ฟ ข้อมูลเส้นสีดำเข้มแทนข้อมูลจากผู้ทดสอบคนที่ 2 สังเกตได้ว่าลักษณะการเคลื่อนไหวจากรูปกราฟนั้นมีลักษณะที่คล้ายคลึงกับการสวิงของผู้ทดสอบคนที่ 1 ทั้ง 5 ครั้ง แต่แตกต่างกันที่การใช้เวลาในแต่ละท่วงท่า เช่น ข้อมูลความเร่ง accel:y จากรูปที่ 4.49 ช่วงเริ่มต้นของการสวิง ผู้ทดสอบคนที่ 1 ได้ใช้เวลาประมาณ 20-35 หน่วย (1/50s) ในขณะที่ผู้ทดสอบคนที่ 2 ใช้เวลาไม่ถึง 10 หน่วย ในช่วงต่อมา ช่วงเวลาที่ 30-80 ข้อมูลจากผู้ทดสอบคนที่ 1 มีอัตราการเปลี่ยนแปลงที่น้อยกว่าผู้ทดสอบคนที่ 2 อย่างชัดเจน เมื่อนำข้อมูลดังกล่าววัดความเหมือนด้วยขั้นตอนวิธี Cosine Similarity ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.6 และ SMAPE ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 4.7 และตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.5 ร้อยละความเหมือนของการสวิงกอล์ฟที่หลังส่วนบนจากผู้ทดสอบคนที่ 2 เทียบกับข้อมูลการสวิง 5 ครั้งกับผู้ทดสอบคนที่ 1 ด้วยขั้นตอนวิธี SMAPE

ครั้งที่	yaw	roll	pitch	accel:x	accel:y	accel:z
1	19.5378	78.4254	40.5868	86.2704	37.8949	12.1812
2	16.7234	74.5561	28.2505	83.6560	30.1964	5.5037
3	15.4199	71.2046	26.9372	81.1242	28.3371	6.1073
4	8.8605	80.0153	19.3277	87.9223	22.6003	8.6423
5	11.5816	76.8787	-0.1705	85.6194	6.3428	7.1221
เฉลี่ย	14.4246	76.2160	22.9863	84.9184	25.0743	7.9113

ตารางที่ 4.6 ร้อยละความเหมือนของการสวิงกอล์ฟที่หลังส่วนล่างจากผู้ทดสอบคนที่ 2 เทียบกับข้อมูลการสวิง 5 ครั้งกับผู้ทดสอบคนที่ 1 ด้วยขั้นตอนวิธี SMAPE

ครั้งที่	yaw	roll	pitch	accel:x	accel:y	accel:z
1	41.0001	80.3965	-71.7857	86.3270	-70.2058	20.2507
2	39.7944	80.1711	-67.7218	86.4490	-67.1967	21.7603
3	36.4962	78.9494	-69.4437	85.4470	-66.6150	24.6672
4	41.6000	78.1737	-73.9723	85.1398	-69.8824	17.9658
5	39.3029	77.0962	-75.0014	84.6583	-71.2009	17.2938
เฉลี่ย	39.6387	78.9574	-71.5850	85.6042	-69.0202	20.3876

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ร้อยละความเหมือนของการสวิงกอล์ฟที่หลังส่วนบนจากผู้ทดสอบคนที่ 2 เทียบกับข้อมูลการสวิง 5 ครั้งกับผู้ทดสอบคนที่ 1 ด้วยขั้นตอนวิธี Cosine Similarity

ครั้งที่	yaw	roll	pitch	accel:x	accel:y	accel:z
1	77.5137	97.1432	83.5212	97.2030	42.1965	78.6982
2	71.2092	96.5833	63.2665	96.5846	28.6804	77.6348
3	65.4955	96.0783	63.5355	96.6426	30.6295	78.3838
4	67.6943	97.6156	86.6114	97.2500	47.8449	77.0289
5	47.5468	97.2492	71.4341	97.5558	40.1221	79.1706
เฉลี่ย	65.8919	96.9339	73.6737	97.0472	37.8947	78.1833

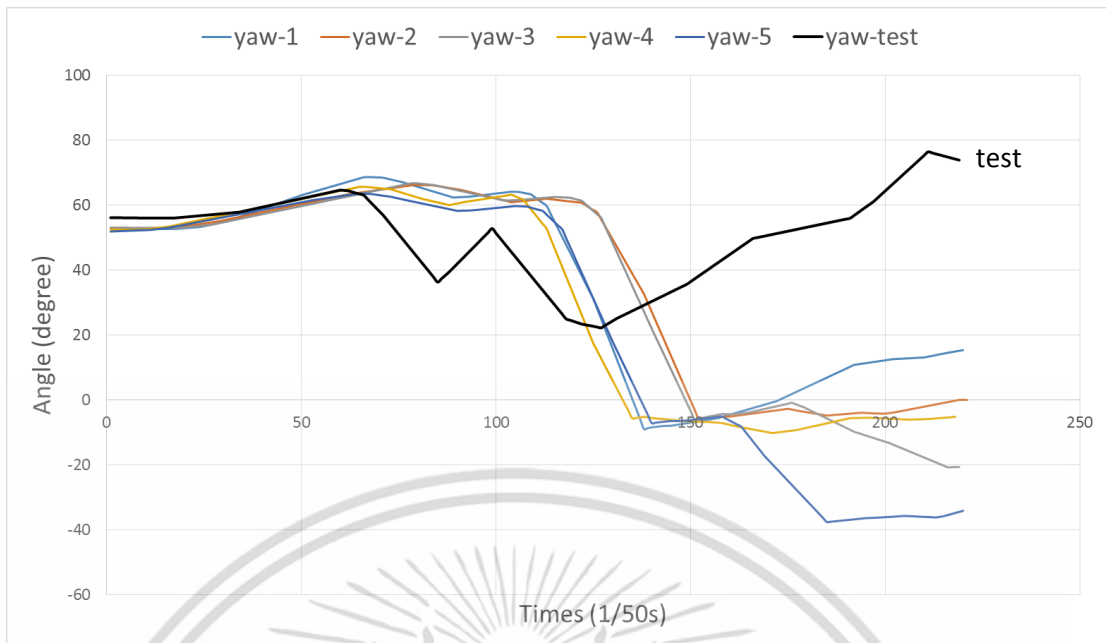
ตารางที่ 4.8 ร้อยละความเหมือนของการสวิงกอล์ฟที่หลังส่วนล่างจากผู้ทดสอบคนที่ 2 เทียบกับข้อมูลการสวิง 5 ครั้งกับผู้ทดสอบคนที่ 1 ด้วยขั้นตอนวิธี Cosine Similarity

ครั้งที่	yaw	roll	pitch	accel:x	accel:y	accel:z
1	81.8677	98.3143	-3.5337	99.0450	-27.8753	73.8256
2	82.0427	98.2851	-1.2984	99.1396	-21.7279	75.2684
3	80.0195	98.1177	-7.3660	99.0629	-29.8187	76.1076
4	82.8207	98.2024	-9.5570	99.1004	-31.5641	71.6203
5	81.6376	98.5121	-9.9294	99.2060	-32.9074	70.6902
เฉลี่ย	81.6777	98.2863	-6.3369	99.1108	-28.7787	73.5024

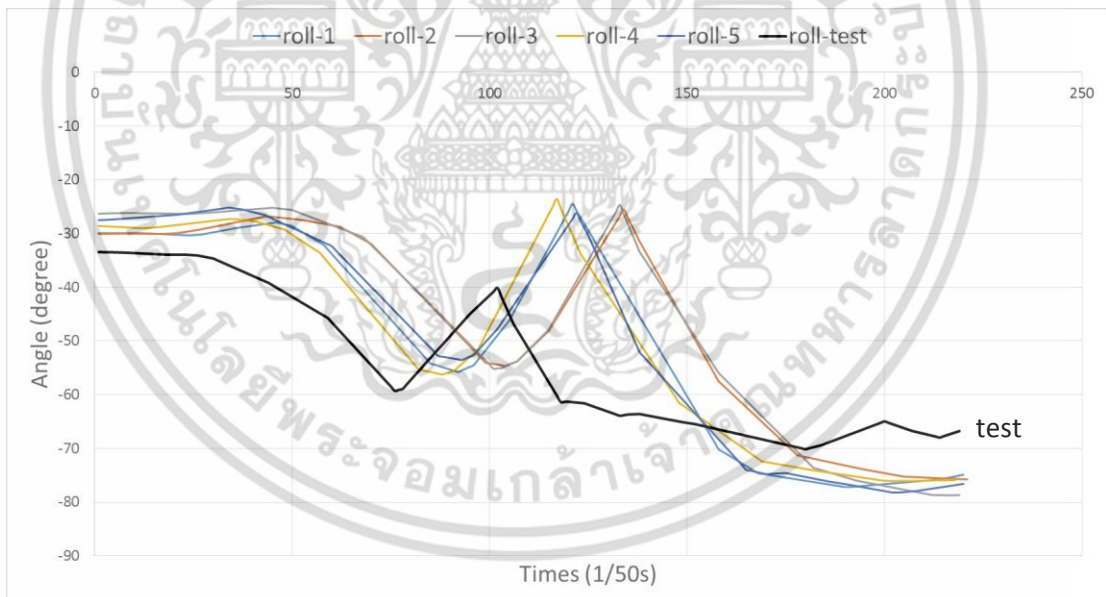
จากตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.6 สังเกตได้ว่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในแต่ละชุดข้อมูลไม่มีความต่อเนื่องกัน เช่นข้อมูล yaw และ accel:z จากกล้ามเนื้อหลังส่วนบนมีค่าใกล้เคียงกันที่ 14.4246 และ 7.9113 ในขณะที่ roll และ accel:y อยู่ที่ 76.2160 และ 84.9184 ในส่วนกล้ามเนื้อหลังส่วนล่าง มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเป็นค่าลบคือชุดข้อมูล pitch และ accel:y อยู่ที่ -71.5850 และ -69.0202 สาเหตุที่ทำให้เป็นเช่นนั้นเพราะการเคลื่อนไหวในแต่ละท่าของผู้ทดสอบนั้นใช้เวลาช้า-เร็วไม่เท่ากัน ทำให้ข้อมูลการสวิงไม่อาจใช้การเทียบความแตกต่างของข้อมูลในเวลาเดียวกันได้ เมื่อทำการคำนวณ จึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนที่มากกว่าความเป็นจริง เช่นเดียวกับการวัดขั้นตอนวิธี Cosine Similarity ที่ใช้การวัดความเหมือนที่เวลาที่ตรงกันของ 2 ชุดข้อมูล ทำให้มีปัญหาเช่นเดียวกับขั้นตอนวิธี SMAPE

เมื่อนำข้อมูลชุดเดียวกันกับที่ใช้ทดสอบ SMAPE และ Cosine Similarity คำนวณด้วยขั้นตอนที่ 1 และ 2 ของขั้นตอนวิธี CCL ได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 4.51 ถึงรูปที่ 4.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

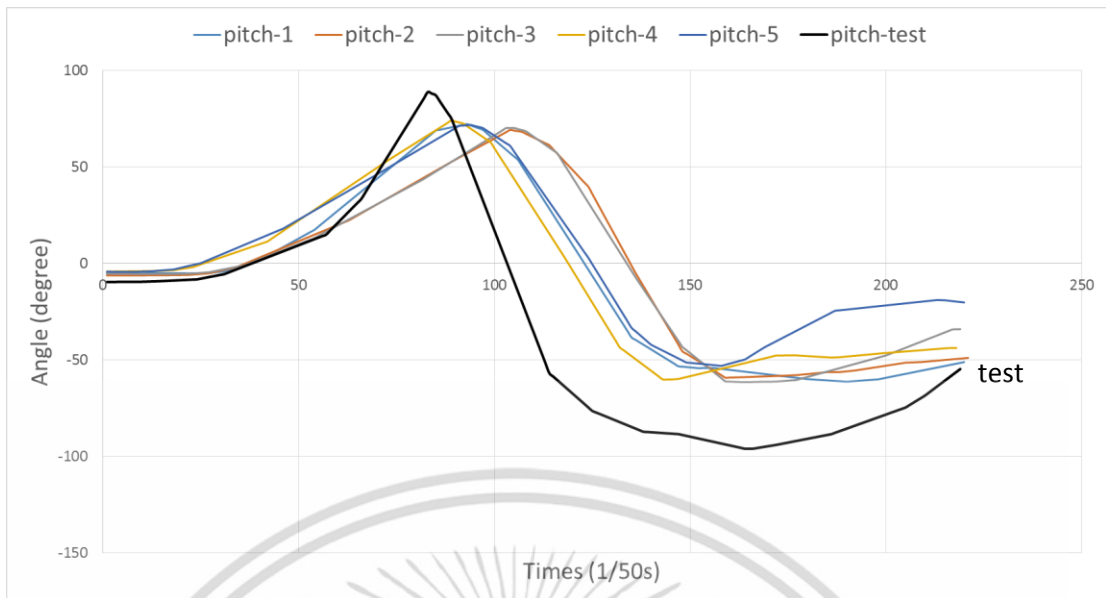


รูปที่ 4.51 ข้อมูลการบิดหมุน yaw ที่กล้ำเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง
เปรียบเทียบกับการสวิงจากผู้ทดสอบที่ 2 (CCL)

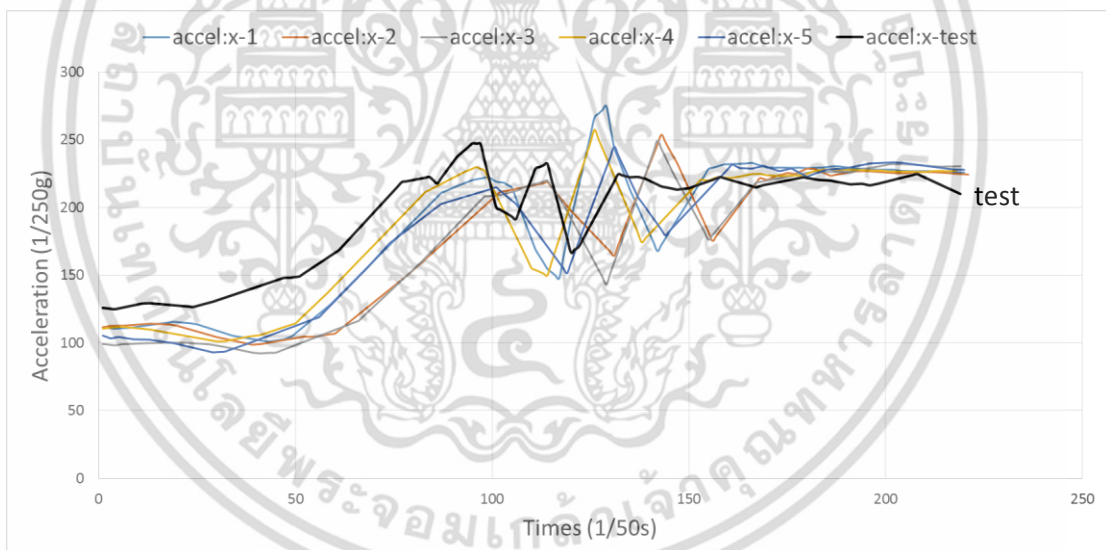


รูปที่ 4.52 ข้อมูลการบิดหมุน roll ที่กล้ำเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง
เปรียบเทียบกับการสวิงจากผู้ทดสอบที่ 2 (CCL)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

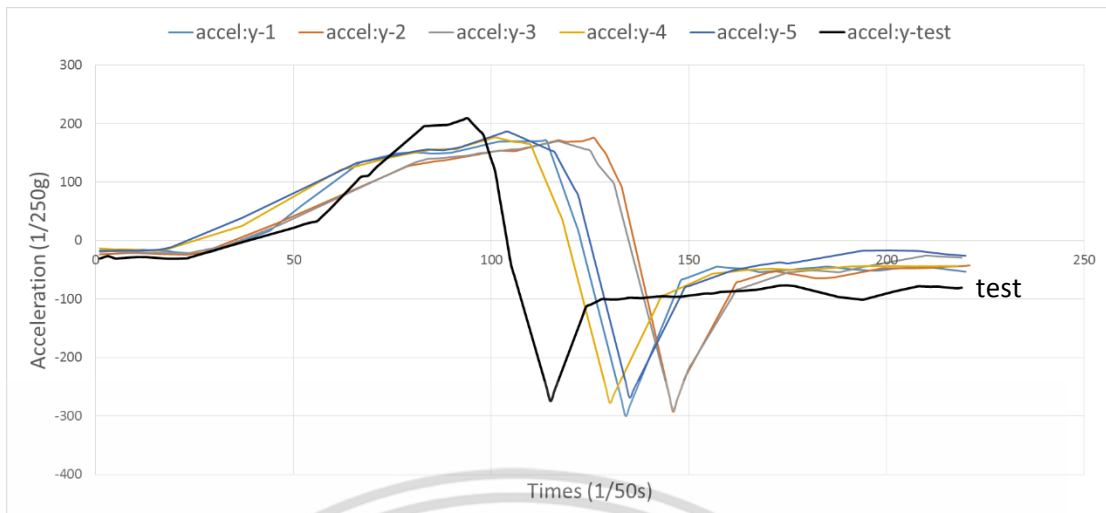


รูปที่ 4.53 ข้อมูลการบิดหมุน pitch ที่กล้ำเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง
เปรียบเทียบกับการสวิงจากผู้ทดสอบที่ 2 (CCL)

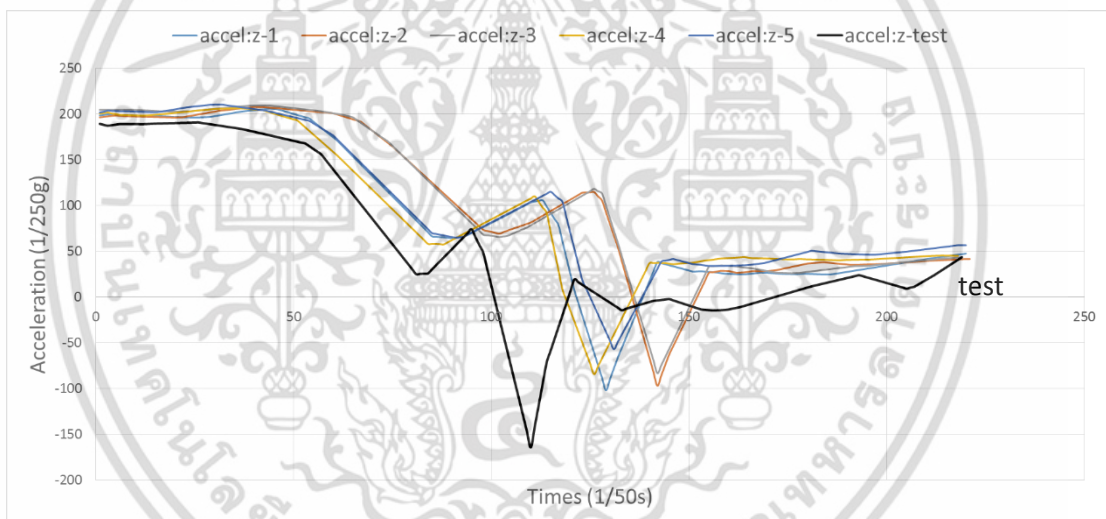


รูปที่ 4.54 ข้อมูลความเร่ง accel:x ที่กล้ำเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง
เปรียบเทียบกับการสวิงจากผู้ทดสอบที่ 2 (CCL)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

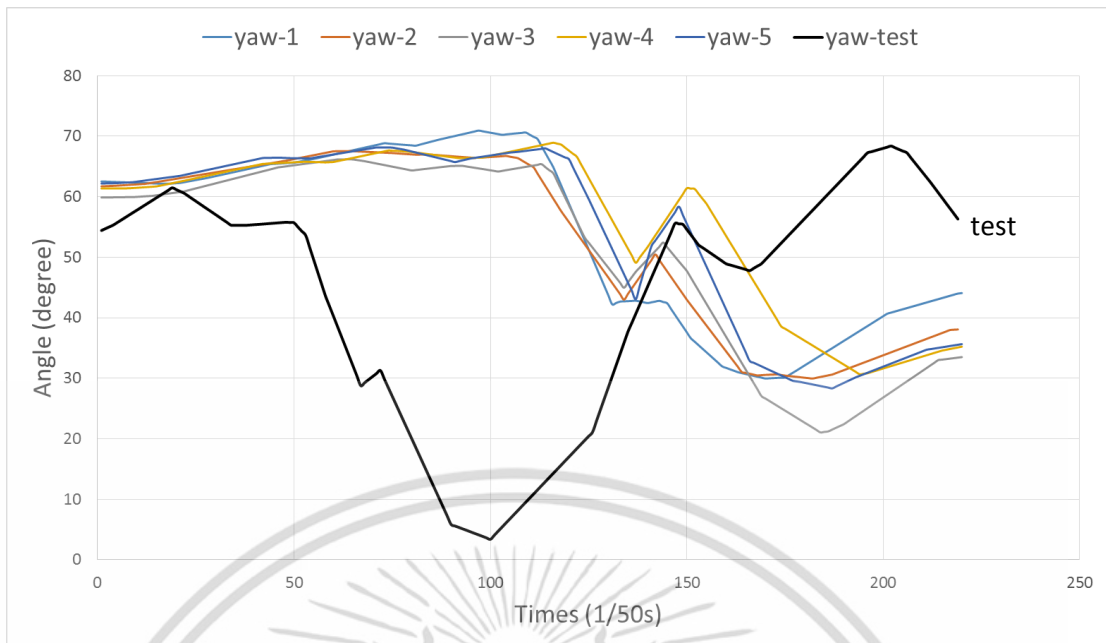


รูปที่ 4.55 ข้อมูลความเร่ง accel:y ที่กล้ำเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง
เปรียบเทียบกับ การสวิงจากผู้ทดสอบที่ 2 (CCL)

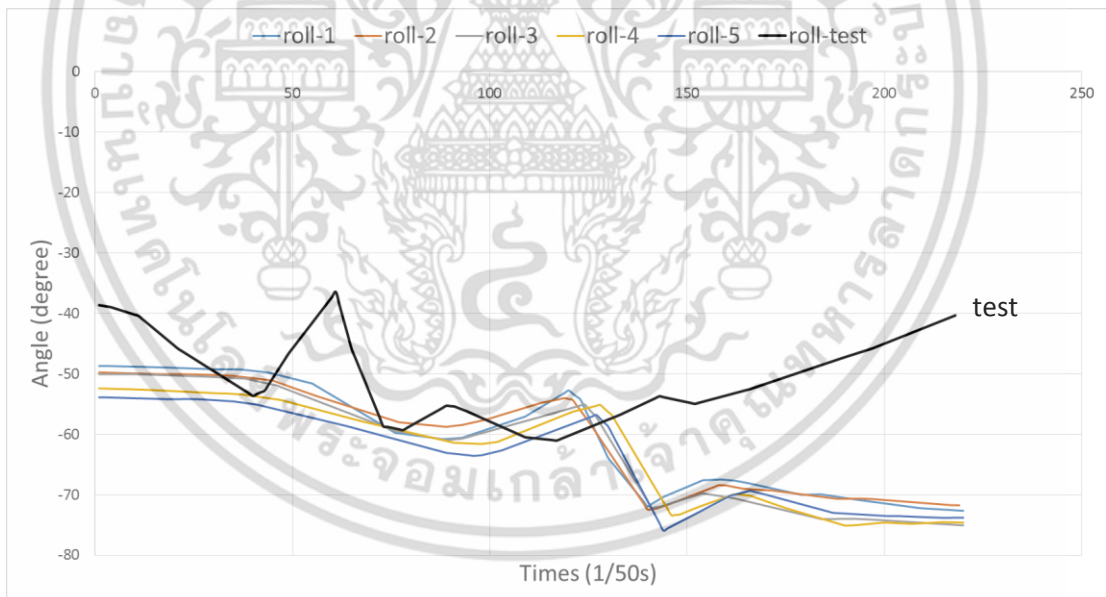


รูปที่ 4.56 ข้อมูลความเร่ง accel:z ที่กล้ำเนื้อหลังบนจำนวน 5 ครั้ง
เปรียบเทียบกับ การสวิงจากผู้ทดสอบที่ 2 (CCL)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

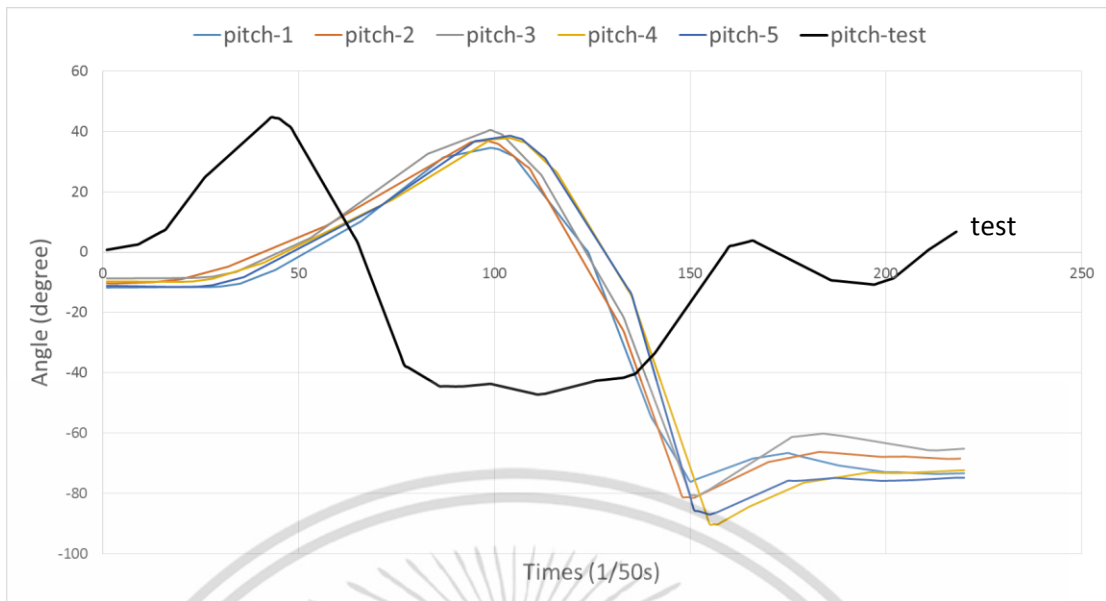


รูปที่ 4.57 ข้อมูลการบิดหมุน yaw ที่กล้ำเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง
เปรียบเทียบกับการสวิงจากผู้ทดสอบที่ 2 (CCL)

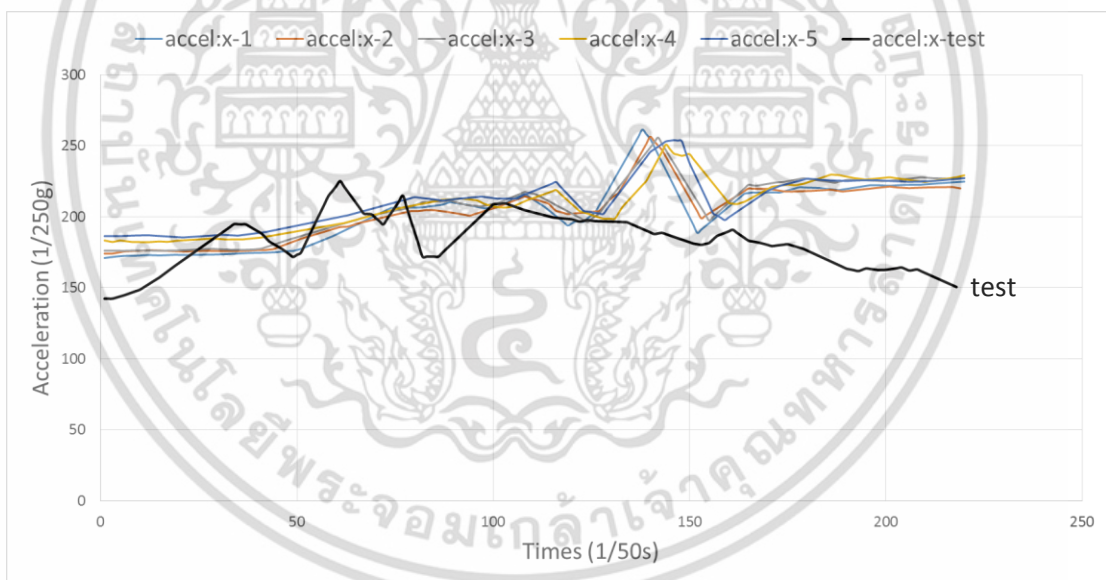


รูปที่ 4.58 ข้อมูลการบิดหมุน roll ที่กล้ำเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง
เปรียบเทียบกับการสวิงจากผู้ทดสอบที่ 2 (CCL)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

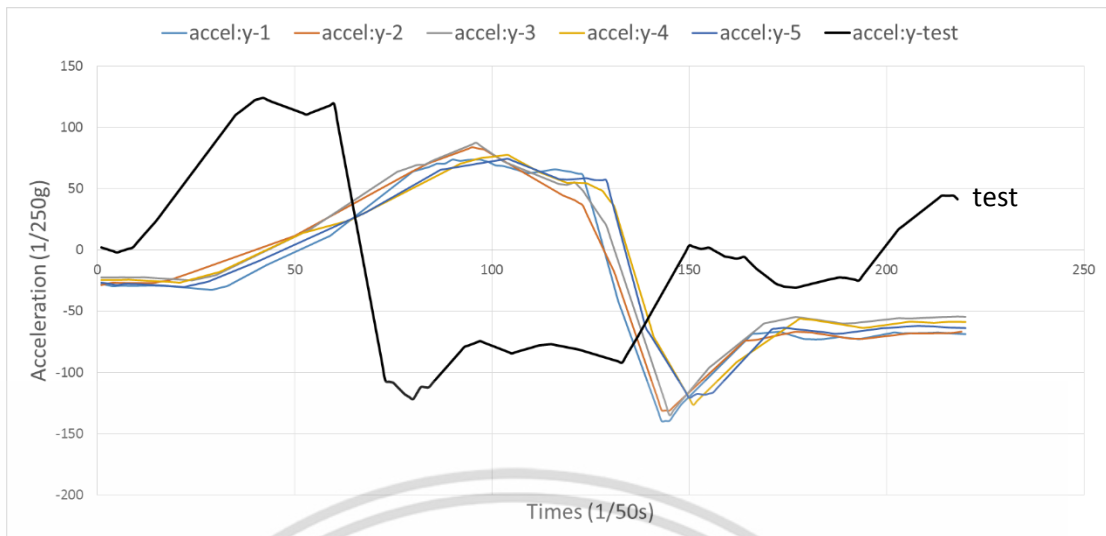


รูปที่ 4.59 ข้อมูลการบิดหมุน pitch ที่กล้ำเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง
เปรียบเทียบกับการสวิงจากผู้ทดสอบที่ 2 (CCL)

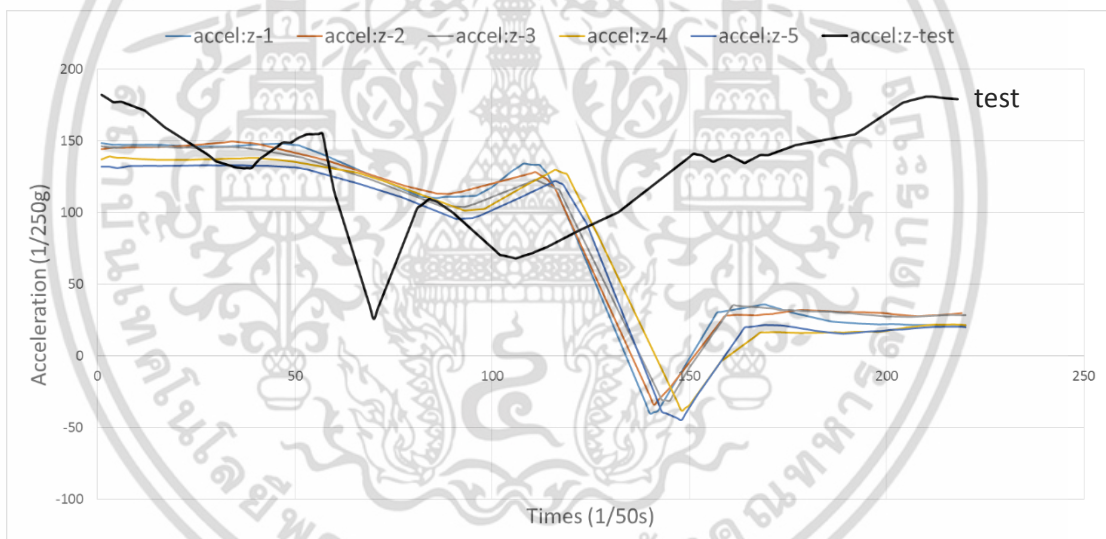


รูปที่ 4.60 ข้อมูลความเร่ง accel:x ที่กล้ำเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง
เปรียบเทียบกับการสวิงจากผู้ทดสอบที่ 2 (CCL)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.61 ข้อมูลความเร่ง accel:y ที่กล้ำเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง
เปรียบเทียบกับการสวิตช์จากผู้ทดสอบที่ 2 (CCL)



รูปที่ 4.62 ข้อมูลความเร่ง accel:z ที่กล้ำเนื้อหลังล่างจำนวน 5 ครั้ง
เปรียบเทียบกับการสวิตช์จากผู้ทดสอบที่ 2 (CCL)

เมื่อใช้การเปรียบเทียบจากขั้นตอนที่ 3 ของขั้นตอนวิธี CCL ข้อมูลในรูปที่ 4.50 ถึงรูปที่ 4.61 ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 4.9 และตารางที่ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ร้อยละความเหมือนของการสวิงกอล์ฟที่หลังส่วนบนจากผู้ทดสอบคนที่ 2 เทียบกับ ข้อมูลการสวิง 5 ครั้งกับผู้ทดสอบคนที่ 1 ด้วยขั้นตอนวิธี CCL

ครั้งที่	yaw	roll	pitch	accel:x	accel:y	accel:z
1	81.2602	83.8839	86.4584	85.6344	91.3875	83.7461
2	70.6634	75.3231	87.5050	69.9335	92.6699	85.5048
3	78.7456	78.4835	85.2623	84.3240	93.7835	86.8568
4	84.7492	79.8598	84.3524	85.4901	93.7536	84.6452
5	76.2793	79.1035	83.7382	81.5541	93.0744	86.7457
เฉลี่ย	78.3395	79.3308	85.4633	81.3872	92.9338	85.4997

ตารางที่ 4.10 ร้อยละความเหมือนของการสวิงกอล์ฟที่หลังส่วนล่างจากผู้ทดสอบคนที่ 2 เทียบกับ ข้อมูลการสวิง 5 ครั้งกับผู้ทดสอบคนที่ 1 ด้วยขั้นตอนวิธี CCL

ครั้งที่	yaw	roll	pitch	accel:x	accel:y	accel:z
1	72.1770	80.1953	76.9484	70.5069	89.2473	85.9356
2	70.7087	79.2101	79.6270	82.7816	88.4535	82.2338
3	68.0601	78.9509	75.6313	80.9013	87.8990	84.7442
4	69.8462	80.8482	81.5876	81.7273	88.5650	68.9461
5	69.8828	79.7194	82.0116	84.8811	88.0426	84.6966
เฉลี่ย	70.1349	79.7848	79.1612	80.1596	88.4415	81.3112

จากตารางที่ 4.9 และ 4.10 จะสังเกตได้ว่าร้อยละความเหมือนของข้อมูลในแต่ละ ครั้งนั้นใกล้เคียงกัน และด้วยการเลือกอัตราการเปลี่ยนแปลงตามลำดับการเคลื่อนไหวที่เกิดขึ้น ไม่ใช่ การเลือกจากการเทียบเวลาที่ตรงกันโดยตรง ทำให้ค่าเฉลี่ยความเหมือนที่คำนวณได้นั้นใกล้เคียงกัน และไม่เกิดความคลาดเคลื่อนในระดับที่ทำให้ร้อยละความเหมือนน้อยกว่า 0 ทั้งนี้สังเกตได้ว่าการ เคลื่อนไหวมีลักษณะเป็นไปในทิศทางเดียวกัน (แม้จะมีค่าการเคลื่อนไหวและเวลาแตกต่างกัน) เมื่อ เปรียบเทียบผลลัพธ์ทั้ง 3 วิธี ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ร้อยละความเหมือนของการสวิงกอล์ฟที่หลังล่างจากผู้ทดสอบคนที่ 2 เทียบกับข้อมูลการสวิง 5 ครั้งกับผู้ทดสอบคนที่ 1 ด้วยขั้นตอนวิธี Cosine Similarity, SMAPE และ CCL

บริเวณ	วิธี	ข้อมูล						เฉลี่ย
		yaw	roll	pitch	accel:x	accel:y	accel:z	
หลัง ส่วนบน	Cosine Similarity	65.8919	96.9339	73.6737	97.0472	37.8947	78.1833	74.9375
	SMAPE	14.4246	76.2160	22.9863	84.9184	25.0743	7.9113	38.5885
	CCL	78.3395	79.3308	85.4633	81.3872	92.9338	85.4997	83.8257
หลัง ส่วนล่าง	Cosine Similarity	81.6777	98.2863	-6.3369	99.1108	-28.7787	73.5024	52.9103
	SMAPE	39.6387	78.9574	-71.5850	85.6042	-69.0202	20.3876	13.9971
	CCL	70.1349	79.7848	79.1612	80.1596	88.4415	81.3112	79.8322

จากตารางที่ 4.11 ขั้นตอนวิธี Cosine Similarity และ sMAPE พบปัญหาการเปรียบเทียบท่วงท่าการสวิง ที่มีการเริ่มต้นไม่พร้อมกันของผู้สวิง ทำให้ค่าความเหมือนของชุดข้อมูลที่ได้ ไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน ทำให้ยากต่อการวิเคราะห์ว่าการสวิงที่เปรียบเทียบ มีความเหมือนมากน้อยเพียงใด ในส่วนขั้นตอนวิธี CCL ได้เปรียบขั้นตอนวิธี Cosine Similarity และ sMAPE ในแง่ของการจับคู่ท่วงท่า หรือช่วงเวลาที่มีความคล้ายคลึงกันของชุดข้อมูล 2 ชุด ก่อนการคำนวณค่าความเหมือน ทำให้ขั้นตอนวิธี CCL มีค่าความเหมือนเป็นไปในทางเดียวกัน

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอขั้นตอนวิธี CCL เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบการสวิงกอล์ฟ โดยใช้ข้อมูลการบิดหมุนและความเร่งจากกล้ามเนื้อหลังส่วนบนและส่วนล่าง ด้วยเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว Razor IMU จากผลการทดลอง ข้อมูลการสวิงที่ได้จากเซ็นเซอร์นั้นแสดงให้เห็นถึงลักษณะการสวิงแต่ละครั้งของผู้ทดสอบ ข้อมูลการสวิงในแต่ละครั้งมีรูปแบบที่ใกล้เคียงกัน แต่สังเกตได้ว่าการเริ่มต้นของท่วงท่า และระยะเวลาที่ใช้ในแต่ละท่วงท่าแตกต่างกัน ขั้นตอนวิธี CCL จึงคิดค้นมาเพื่อการเปรียบเทียบ และค้นหาลักษณะเฉพาะในรูปแบบของสมการเชิงเส้น ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนที่ 1 การปรับข้อมูลโดยการเฉลี่ยชุดข้อมูลในช่วงเวลาใกล้เคียงกัน ขั้นตอนนี้สามารถลดความคลาดเคลื่อนจากการเกร็งและการผ่อนคลายกล้ามเนื้อได้ แต่ข้อมูลใหม่ที่ได้จากขั้นตอนนี้จะมีความแตกต่างจากข้อมูลตั้งต้นเล็กน้อย ขั้นตอนที่ 2 คือการปรับข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้นในแต่ละช่วงเวลา ขั้นตอนนี้สามารถบ่งบอกถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลในแต่ละช่วงเวลา แบ่งกลุ่มข้อมูลโดยใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงได้ และขั้นตอนที่ 3 เป็นการนำชุดข้อมูลที่ได้มาปรับปรุงให้อยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้นมาใช้เปรียบเทียบกัน ขั้นตอนนี้เป็นการคัดเลือกท่วงท่าที่คล้ายคลึงกันและเปรียบเทียบค่าความเหมือนของข้อมูล 2 ชุดจากอัตราการเปลี่ยนแปลง โดยใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลหรือความชันของสมการเชิงเส้น วิธีการนี้ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าขั้นตอนวิธี Cosine Similarity และ sMAPE ในแง่ของความถูกต้อง เนื่องจากมีขั้นตอนการเปรียบเทียบจากท่วงท่า ไม่ใช้การเทียบเวลาที่ตรงกันของชุดข้อมูล ซึ่งสามารถแก้ไขปัญหาการใช้ความเร็วในแต่ละท่วงท่าที่ไม่เท่ากันได้ แต่จะพบว่าในขั้นตอนการจับคู่ของเส้นตรงที่มีความคล้ายคลึงกันของ 2 ชุดข้อมูลที่นำมาเปรียบเทียบ จะพบว่ามีขั้นตอนการทำงานมากกว่าขั้นตอน sMAPE และ Cosine Similarity เล็กน้อย

ผลลัพธ์การพัฒนาในงานวิจัยนี้ ชุดอุปกรณ์ประกอบเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวสามารถวัดค่าการบิดหมุนและความเร่งที่กล้ามเนื้อหลังส่วนบนและส่วนล่างได้ รูปแบบข้อมูลการสวิงที่ได้สามารถนำไปวิเคราะห์การสวิงในเชิงสถิติ รวมถึงการประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธี CCL ในการเปรียบเทียบการสวิง เพื่อฝึกฝนการสวิงกอล์ฟให้เหมือนผู้เชี่ยวชาญที่เป็นต้นแบบได้

5.2 ข้อจำกัด

- 1) ชุดตรวจจับการเคลื่อนไหวที่ทำงานร่วมกับเซ็นเซอร์ Razor IMU ออกแบบให้มีขนาดที่ปรับได้ 3 ระดับคือขนาด M, L และ XL ใช้งานสำหรับบุคคลที่มีกระดูกสันหลังปกติเท่านั้น
- 2) การทำงานของเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวในงานวิจัยนี้ สามารถทำงานร่วมกันระหว่างเซ็นเซอร์และคอมพิวเตอร์โดยตรงผ่านสัญญาณบลูทูธเท่านั้น ดังนั้นระยะเวลาการตรวจวัดการสวิงกอล์ฟจะมีระยะมากที่สุดเพียงระยะของสัญญาณบลูทูธ

- 3) ในขั้นตอนการลดความคลาดเคลื่อนด้วยการเฉลี่ยข้อมูลและการปรับข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้นนั้น อาศัยการปรับความเหมาะสมของค่า N , $limit$ และ $limit_mul$ ตามลำดับ ขั้นตอน CCL จะให้ผลลัพธ์ที่ดีก็ต่อเมื่อมีการปรับตัวแปรดังกล่าวอย่างเหมาะสม
- 4) ขั้นตอนวิธี CCL ไม่สามารถให้ความหมาย แสดงผลกระทบ และรูปแบบเฉพาะของการสวิงกอล์ฟในแต่ละครั้ง

5.3 ข้อเสนอแนะ

- 1) ขั้นตอนการแบ่งกลุ่มข้อมูลหรือการแบ่งช่วงทำการสวิง ควรใช้การแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบสมการเส้นโค้ง เนื่องจากมีข้อบ่งชี้ว่าการสวิงในบางช่วงนั้นมีลักษณะเป็นเส้นโค้งที่มีรูปแบบ
- 2) ควรทำให้ขั้นตอนวิธี CCL สามารถคำนวณค่า N , $limit$ และ $limit_mul$ ในแต่ละชุดข้อมูลได้อย่างอัตโนมัติ (รองรับการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรเมื่อมีการเพิ่มชุดข้อมูลในระบบ)
- 3) ควรทดสอบกับผู้ทดสอบให้มากยิ่งขึ้น และติดตามอาการบาดเจ็บในแต่ละราย เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และให้ความหมายรูปแบบข้อมูลที่ก่อให้เกิดอาการบาดเจ็บ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Gluck G. S., Bendo J. A. and Spivak J. M. “The Lumbar Spine and Low Back Pain in Golf: a Literature Review of Swing Biomechanics and Injury Prevention”. **The Spine Journal**. 2008. vol. 8. pp. 778-788.
- [2] Smith A., Roberts J., Wallace E. and Forrester S. “Professional Golf Coaches’ Perceptions of the Key Technical Parameters in the Golf Swing”. **Procedia Engineering**. 2012. vol. 34. pp. 224-229.
- [3] Nam C. N. K., Kang H. J. and Suh Y. S. “Golf Swing Motion Tracking Using Inertial Sensors and a Stereo Camera”. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**. vol. 63. no. 4. April 2014. pp. 943-952.
- [4] Chen Y. and Hung Y. “Using Real-time Acceleration Data for Exercise Movement Training with a Decision Tree Approach”. **Expert Systems with Applications**. 2010. vol. 37 (12). pp. 7552-7556.
- [5] Mateus D., Navab N. and Schwarz L. A. “Recognizing multiple human activities and tracking full-body pose in unconstrained environments”. **Pattern Recognition** 45. 2012. pp. 11-23.
- [6] Sirikhan I. **The Model of Golf Swing (Online)**. สืบค้นเมื่อ 1 เม.ย. 2557 จาก <http://www.golfprojack.com/>.
- [7] Spark fun. “**9Degrees of Freedom - Razor IMU**”. สืบค้นเมื่อ 25 พ.ค. 2557 จาก <https://www.sparkfun.com/products/10736>
- [8] Spark fun. “**ITG- 3200MEMS Triple-Axis Gyro**”. สืบค้นเมื่อ 25 พ.ค. 2557 จาก <https://www.sparkfun.com/products/9793>
- [9] Zygomatica. “**Gyroscope**”. สืบค้นเมื่อ 25 พ.ค. 2557 จาก <http://zygomatica.exteen.com/20100811/gyro-sensor-gyroscope>
- [10] Spark fun. “**ADXL345 (Triple-Axis Accelerometer)**”. สืบค้นเมื่อ 25 พ.ค. 2557 จาก <https://www.sparkfun.com/products/9045>
- [11] Xcodethai. “**Accelerometer-Gyroscope**”. สืบค้นเมื่อ 25 พ.ค. 2557 จาก <http://accelerometer-gyroscope-sensor-app.blogspot.com>
- [12] Spark fun. “**HMC5883L (Triple-Axis Magnetometer)**”. สืบค้นเมื่อ 25 พ.ค. 2557 จาก <https://www.sparkfun.com/products/10494>
- [13] Anonymous. (ม.ป.ป.) “**Magnetometers**”. สืบค้นเมื่อ 28 พฤศจิกายน 2556 จาก http://www.engineersgarage.com/sites/default/files/imagecache/Original/wysiwyg_imageupload/4214/3D-fluxgate-magnetometer.jpg
- [14] Spark fun. “**Bluetooth Mate Gold**”. สืบค้นเมื่อ 25 พ.ค. 2557 จาก <https://www.sparkfun.com/products/12580>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [15] กฤษณ์ เตตานนทร์สกุล. “บลูทูธ "พินสีฟ้า" เทคโนโลยีไร้สายสำหรับอนาคต”. สืบค้นเมื่อ 22 พฤศจิกายน 2556 จาก <http://www.siamphone.com/news/bluetooth/page.htm>
- [16] Spark fun. “Polymer Lithium Ion Battery” สืบค้นเมื่อ 25 พ.ค. 2557 จาก <https://www.sparkfun.com/products/339>
- [17] ห้องปฏิบัติการฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี. “ความคลาดเคลื่อน (Errors)”. สืบค้นเมื่อ 25 พ.ค. 2557 จาก <http://www.chanthaburi.buu.ac.th/~physics/>
- [18] Vanguard Software Corporation. “Mean Absolute Percentage Error (MAPE)”. สืบค้นเมื่อ 25 พ.ค. 2557 จาก <http://www.vanguardsw.com/101/mean-absolute-percent-error-mape.htm>
- [19] Anonymous. (ม.ป.ป.) “Cosine_similarity”. สืบค้นเมื่อ 14 เม.ย. 2558 จาก http://en.wikipedia.org/wiki/Cosine_similarity
- [20] ดร.อนันตพร ศรีสวัสดิ์. “Data Preprocessing Data Mining Techniques”. 2557.
- [21] Negoro H., Ueda M., Watanabe K., Kobayashi K. and Kurihara Y. “Measurement and Analysis of Golf Swing Using 3D Acceleration and Gyroscopic Sensors”. **SICE Annual Conference 2011**. Waseda University. Tokyo. Japan. 2011. pp. 1111-1114.
- [22] Shiota K., Watanabe K. and Kurihara Y. “Measurement and analysis of golf swing using 3-D acceleration and gyro sensor”. **SICE Annual Conference**. Akita University. Akita. Japan. 2012. pp. 356-360.
- [23] O. J. Woodman. “An introduction to inertial navigation”. **Technical Report**. 2007. UCAM-CL-TR-696. ISSN 1476-2986.
- [24] Kalman. R.E. “A new approach to linear filtering and prediction problems”, **Transaction of the ASME, Journal of Basic Engineering**, March, 1960, p. 35-45.
- [25] นาวาตรี ดร. กฤษณา แสงเพชรส่อง. “แนะนำ Kalman Filter Algorithm”. สืบค้นเมื่อ 14 เม.ย. 2558 จาก https://www.aimagin.com/downloads/dl/file/id/64/kalman_filter.pdf
- [26] Liu Y., Chung Y. Y. and Yeh W. C. “Simplified Swarm Optimization with Sorted Local Search for Golf Data Classification”. **WCCI 2012 IEEE World Congress on Computational Intelligence**. Brisbane. Australia. 2012.
- [27] Nam C. N. K., Suh Y. S. and Khanh D. Q. “3D Dynamics Analysis of a Golf Full Swing by Fusing Inertial Sensor and Vision data”. **13th International Conference on Control. Automation and Systems (ICCAS 2013)**. Kimdaejung Convention Center. Gwangju. Korea. 2013. pp. 1300-1303.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [28] Yoon H. S., Bae C. S. and Min B. W. “Neural Networks for Golf Swing Analysis from Weight-Shift”. **IEEE World Congress on Computational Intelligence**. Orlando. FL. USA. 1994. pp. 3083-3087.
- [29] รองศาสตราจารย์ มรรยาท ณ นคร และอาจารย์ ดร. สุภารัตน์ วังศรีคุณ. “กายวิภาคและสรีรวิทยาของกระดูกสันหลังและไขสันหลัง”. สืบค้นเมื่อ 14 พ.ย. 2558 จาก <http://www.nurse.cmu.ac.th/websurg/educate/anatomyspine.pdf>
- [30] Kimpan W., Reintrakulchai N., and Tangwongcharoen W. “Pattern Analysis of Golf Swing using Motion Sensors”. **Proceedings of 2013 3rd International Conference on Computer Engineering and Bioinformatics (ICCEB 2013)**.
- [31] Reintrakulchai N. and Kimpan W. “The Design of Golf Swing Pattern Analysis from Motion Sensors”. **Computer Science and Engineering Conference (ICSEC)**. 2014 International. Khon Kaen. July 30 2014-Aug. 1 2014. pp. 222 – 227.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The Design of Golf Swing Pattern Analysis from Motion Sensors

Natee Reintrakulchai

Department of Computer Science, Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand
s4650807@kmitl.ac.th

Warangkhan Kimpan

Department of Computer Science, Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand
knwarang@kmitl.ac.th

Abstract—This paper proposes a new idea of an analysis of golf swing patterns. The body movement data are collected from upper back and lower back muscles using Razor IMUs. The data are then classified in two steps according to the similarity of the changing ratio: the deviation reduction from sensors and the changing ratio at each period of time. The experimental results show the modified data in the form of Linear equation which consists of many straight lines. Each line represents each player's swing which can be compared to one another or defined the golf swing pattern among golf players and coaches and can also be adapted to the similar golf swing pattern data classification which can help golf trainers or doctors for physical therapy. This proposed method can be applied to use with other sports with certain patterns such as baseball, tennis, and ping pong.

Keywords—Golf swing; Motion sensor; Razor IMU; Golf training; Physical therapy

I. INTRODUCTION

Golf is the sport that has the particular motion pattern. Each swing uses the stroke control together with the force of body's muscles such as, the hands, the arms, the elbows, the legs and the back [1]. The stroke control and the force are the indicators of the effect factors for a golf player both in the sport game and the player's body. This research focuses on golf swing data analysis in order to find each golf player's specific swing gesture using motion sensors in searching for golf swing characteristics. This research emphasizes on the analysis of an individual golf swing to collect specific golf swing patterns. Then the data are classified according to the period of the swing time in relation to the changing ratio to indicate the different golf swing aspect in linear equation.

The structure of the paper is organized as follows: Section II describes the related works to golf swing data classification. The design of golf swing pattern analysis and algorithms are shown in Section III. The experimental results are shown in Section IV. Finally, conclusions are presented in Section V.

II. RELATED WORKS

A. The Golf Swing

Each golf swing requires 8 steps of body movements: Set up, Back Swing-Takeaway, Back Swing-Half Swing, Top Swing, Down Swing, Impact, Follow Through, and Finish [2].

978-1-4799-4963-2/14/\$31.00 ©2014 IEEE

It was found that the important factors which affect the right gesture of golf swing are set-up pose, the body twisting, the body rotation, the exercise sequences, hands and wrists movement, and the golf clubs quality [3]. The right gesture of golf swing leads to the efficiency of the swings and the reduction of injury that occurs from the wrong stroke drive.

B. The Movement Detecting Devices

Two devices were used in order to detect the golf swing movements. The first one was video cameras, such as, 12high-speed VICON8i [4], which is a high speed shooting video camera and Pointgrey Firefly FMVU-03MTC [5], which is a infrared camera using motion point detection by attaching the infrared signal sender at the measuring points. The second one was WAA- 010 [6] which is a motion sensor attaching to the waist. This motion detecting sensor includes 3D acceleration to compare the movements with gravity force in 3D plane.

Besides using motion sensors for detecting the golf swing movement, the game controller devices can be applied to measure other sports with specific movement patterns in the same way as, in 2012, Y. Chen and Y. Hung proposed the use of Wii remotes which have motion sensors to measure the baseball movement [7].

C. The Movement Data Operation

After measuring the golf swing data, the data were transformed into suitable analysis patterns, such as, transforming twisted-rotation data to angular velocity to observe the angular velocity values (deg/s) [6], the acceleration data were operated in the form of golf player's velocity at each swing time (m/s) [8] which was compared to the accuracy of the analysis method, for example, the comparison of pictures from Pointgrey Firefly FMVU-03MTC cameras with Xsens MTi motion sensor.

After the data transformation process, the golf swing patterns data were calculated by using Inertial navigation algorithm and Kalman filter to indicate the positions and velocity of the golf player at the swing time using position data and the golf player's velocity to forecast the swing probability [9]. On the other hand, there were some researches related to golf swing using Computational Intelligence. In 1994, H.S. Yoon et al. proposed Neural Networks [10] to

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

classify and indicate the swing characteristics using the weight shifting of the foot at the swing time. Later in 2012, Y. Liu et al. proposed the use of Simplified Swarm Optimization [11] to classify the golf swing from weight shift data.

According to the previous related works of golf swing pattern analysis, this paper proposes the idea of the data classification for particular golf swing patterns and the suitable analysis of swing characteristics which will be mentioned in the next Section.

III. THE DESIGN OF GOLF SWING PATTERN ANALYSIS AND ALGORITHMS

A. Data Collection

This research used motion sensors of 9 Degrees of Freedom - Razor IMUs to detect body movements [12]. The sensors were attached to the upper and lower back to observe the muscle movement of the upper back, lower back, and spinal axis as shown in Fig. 1.

As soon as the golf player made a golf swing, the swing data were transferred at a real time through Bluetooth to the connected computer. The collected data were processed by using the classification program to classify and compare the golf swing data. The detail will be described in topic C and D.

B. Golf Swing Data Characteristics

Two types of golf swing data: Acceleration and Rotation were transferred from Razor IMUs. Acceleration data were measured in the range of ± 16 g in 3D plane (X, Y, and Z). Rotation data were measured in the range of ± 180 in 3D plane (Roll, Pitch, and Yaw) and the data were sent at 50 times per second as shown in Fig. 1.

C. Data Classification

The data transformation was processed in 2 steps: deviation reduction and data classification using the similar changing ratio at each period of time. The deviation reduction covered the un-stability of muscle spasticity and muscle relaxation. Consequently, the measurement of swing data appeared having uncertainty variance. Therefore, the average data at a certain time was calculated, as in

$$ND_k = \begin{cases} (\sum_{k-n}^{k+n} OD_k)/(2n+1) & \text{if } k > n \\ OD_k & \text{if } k \leq n \end{cases} \quad (1)$$

where k is the time sequence
 n is range of time to average
 OD is real data collected from sensors
 ND is adjusted data

After reducing the data deviation, new data (ND) were classified by the algorithm in Fig. 2.

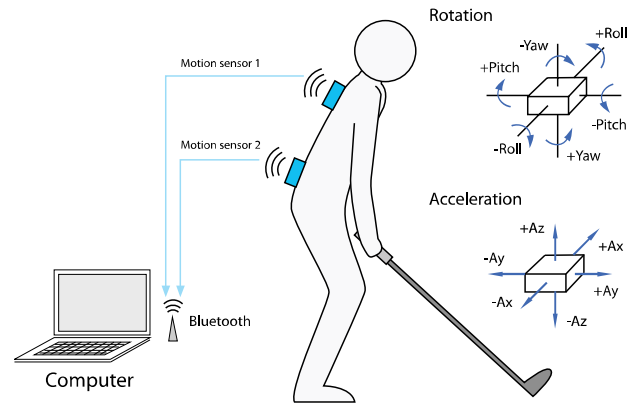


Fig. 1. Motion sensor attachment and data collection.

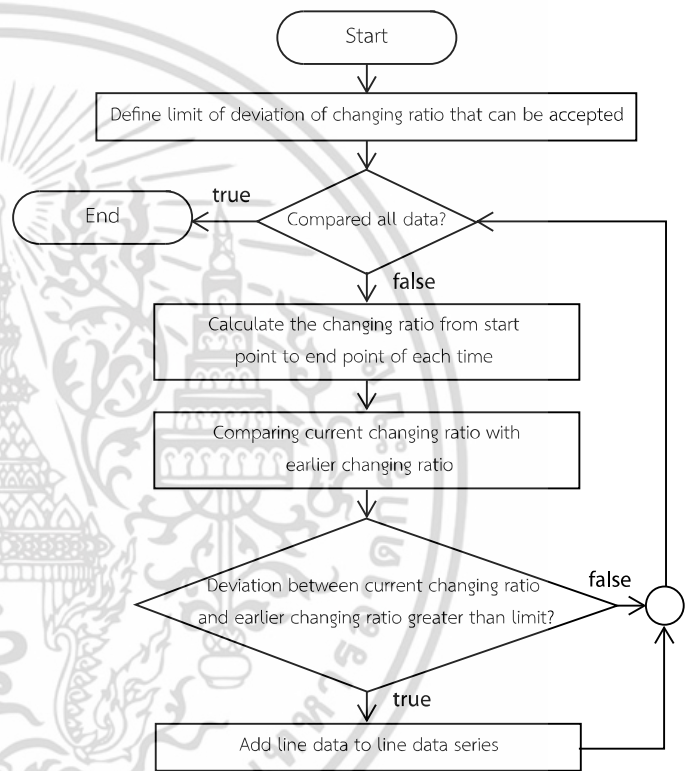


Fig. 2. Classification algorithm.

Then, ND were classified by the classification algorithm in Fig. 2. The movement data with similar changing ratio were grouped together in the form of linear equation, as in

$$y = ax + b \quad (2)$$

where a is the changing ratio
 b is the initial data
 x is the swing at one time
 y is the estimated value from changing ratio calculation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

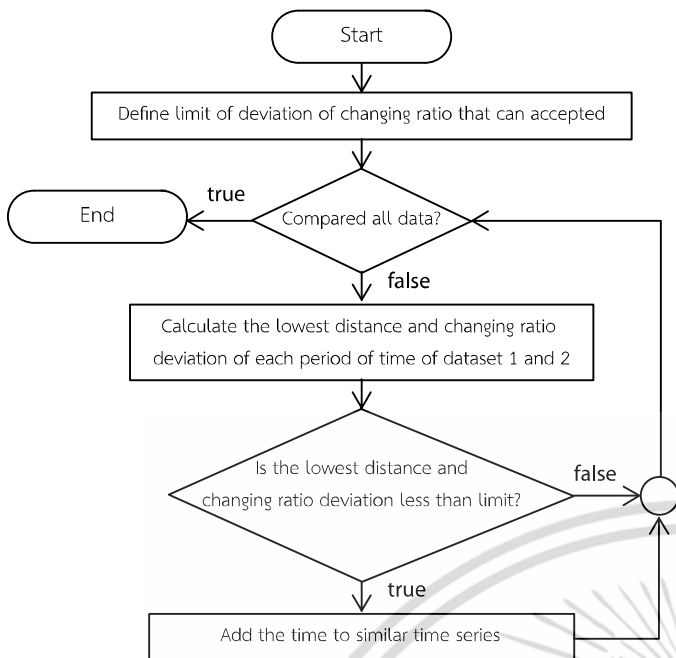


Fig. 3. Comparison algorithm.

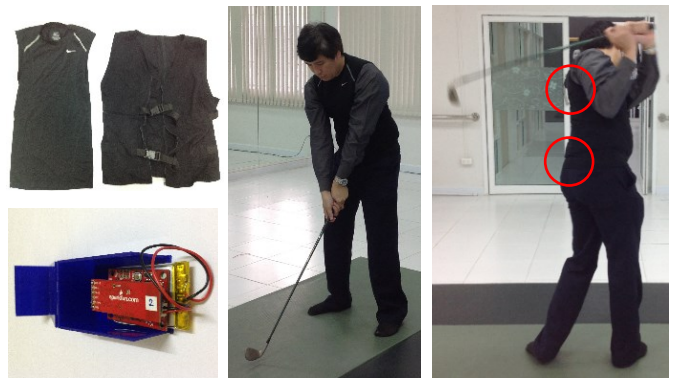


Fig. 4. Golf swing testing.

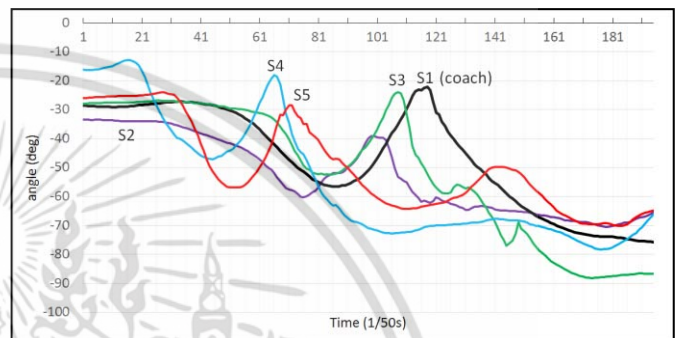


Fig. 5. Roll data of golf swing.

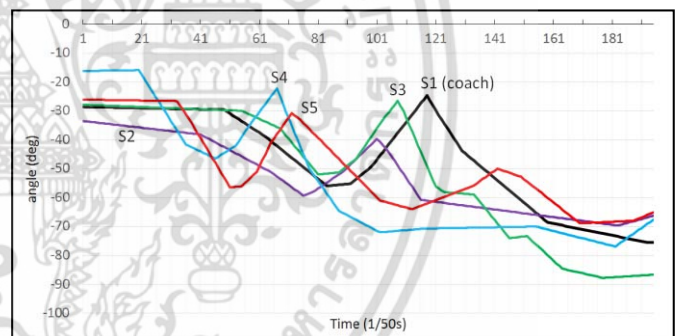


Fig. 6. Classified roll data of golf swing.

D. Data Comparison

The data comparison was processed by selecting the data which had the same changing ratio group from the data classification process in topic C. Two sets of the similar swing data were found. Then, the data were calculated in order to check the deviations; time and stroke between 2 sets of data using Mean Absolute Percentage Error (MAPE) as in equation (3) and Fig. 3.

$$M = \frac{100}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{At - Ft}{At} \right| \quad (3)$$

where t is the sequence of time
 n is the number of data set
 At is the measured data from sensors
 Ft is the estimated data

The data comparison algorithm is shown in Fig. 3.

IV. THE EXPERIMENTS

A. Experimental Design

In Fig. 4, the Razor IMUs were stored in fixed size of closed boxes and attached to the upper and lower back of 4 golf players and one golf coach. Each player made 5 times of golf swing.

B. The Experimental Results

In the golf swing testing, the two sets of movement data at the upper and lower back were performed. The data were classified into 6 types: rotation in Roll, Pitch, and Yaw and acceleration in X axis, Y axis, and Z axis. In the experiments, only roll data were used to classify and compare. The results of golf swing of 5 players are shown in Fig. 5 and the classified swing data are shown in Fig. 6.

Fig. 6 is the result of classified swing data from the algorithms in Section III. In the first step, prior to data adjustment, the range of time to average in equation (1) was $n = 3$. The later step was the data classification. The deviation of changing ratio was limited at 30%. The player S1 was a golf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

coach while others were golf players. The results from the golf swing data calculation are shown in TABLE I to TABLE V. TABLE I shows the classified swing data of the golf coach (S1). The swing steps were classified into 11 lines for player S1, 12 lines for player S2, 17 lines for player S3, 14 lines for player S4, and 16 lines for player S5, are shown in TABLE I, TABLE II, TABLE III, TABLE IV, TABLE V, respectively.

TABLE I. THE CLASSIFIED DATA RESULTS OF PLAYER S1

Line	Time Start	Time End	Position Start	Position End	Ratio
1	0	48	-28.6100	-29.5829	-0.0203
2	48	62	-29.5829	-38.8500	-0.6619
3	62	83	-38.8500	-55.9514	-0.8144
4	83	91	-55.9514	-55.1286	0.1029
5	91	98	-55.1286	-49.3886	0.8200
6	98	117	-49.3886	-24.6400	1.3026
7	117	121	-24.6400	-31.4771	-1.7093
8	121	129	-31.4771	-43.8143	-1.5421
9	129	158	-43.8143	-68.5500	-0.8530
10	158	192	-68.5500	-75.4950	-0.2043
11	192	195	-75.4950	-75.5850	-0.0450

TABLE II. THE CLASSIFIED DATA RESULTS OF PLAYER S2

Line	Time Start	Time End	Position Start	Position End	Ratio
1	0	40	-33.4700	-38.1257	-0.1164
2	40	64	-38.1257	-51.1643	-0.5433
3	64	75	-51.1643	-59.2814	-0.7379
4	75	78	-59.2814	-58.2129	0.3562
5	78	89	-58.2129	-50.5514	0.6965
6	89	93	-50.5514	-46.4071	1.0361
7	93	100	-46.4071	-39.6486	0.9655
8	100	103	-39.6486	-42.7886	-1.0467
9	103	115	-42.7886	-60.7757	-1.4989
10	115	119	-60.7757	-61.3186	-0.1357
11	119	182	-61.3186	-69.6271	-0.1319
12	182	195	-69.6271	-66.2325	0.2829

TABLE III. THE CLASSIFIED DATA RESULTS OF PLAYER S3

Line	Time Start	Time End	Position Start	Position End	Ratio
1	0	54	-27.8600	-29.9500	-0.0387
2	54	67	-29.9500	-36.0086	-0.4660
3	67	80	-36.0086	-51.9257	-1.2244
4	80	87	-51.9257	-51.3443	0.0831

TABLE III. THE CLASSIFIED DATA RESULTS OF PLAYER S3 (CONT'D)

Line	Time Start	Time End	Position Start	Position End	Ratio
5	87	93	-51.3443	-46.4086	0.8226
6	93	101	-46.4086	-34.5029	1.4882
7	101	107	-34.5029	-26.4600	1.3405
8	107	109	-26.4600	-30.0357	-1.7879
9	109	120	-30.0357	-56.2571	-2.3838
10	120	123	-56.2571	-58.0571	-0.6000
11	123	133	-58.0571	-58.9200	-0.0863
12	133	137	-58.9200	-63.9214	-1.2504
13	137	145	-63.9214	-74.0200	-1.2623
14	145	151	-74.0200	-73.2729	0.1245
15	151	163	-73.2729	-84.5700	-0.9414
16	163	177	-84.5700	-87.7586	-0.2278
17	177	195	-87.7586	-86.6550	0.0649

TABLE IV. THE CLASSIFIED DATA RESULTS OF PLAYER S4

Line	Time Start	Time End	Position Start	Position End	Ratio
1	0	19	-16.1900	-15.8986	0.0153
2	19	35	-15.8986	-41.6171	-1.6074
3	35	45	-41.6171	-46.4357	-0.4819
4	45	52	-46.4357	-42.0014	0.6335
5	52	57	-42.0014	-34.3729	1.5257
6	57	66	-34.3729	-22.2286	1.3494
7	66	69	-22.2286	-30.1586	-2.6433
8	69	77	-30.1586	-49.9271	-2.4711
9	77	87	-49.9271	-64.5200	-1.4593
10	87	101	-64.5200	-71.9971	-0.5341
11	101	116	-71.9971	-70.7371	0.0840
12	116	154	-70.7371	-69.9800	0.0199
13	154	181	-69.9800	-76.8857	-0.2558
14	181	195	-76.8857	-67.6475	0.7106

TABLE V. THE CLASSIFIED DATA RESULTS OF PLAYER S5

Line	Time Start	Time End	Position Start	Position End	Ratio
1	0	32	-26.0700	-26.6057	-0.0167
2	32	36	-26.6057	-32.5843	-1.4946
3	36	50	-32.5843	-56.4214	-1.7027
4	50	54	-56.4214	-56.0843	0.0843
5	54	59	-56.0843	-51.1714	0.9826

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE V. THE CLASSIFIED DATA RESULTS OF PLAYER S5 (CONT'D)

Line	Time Start	Time End	Position Start	Position End	Ratio
6	59	64	-51.1714	-40.9429	2.0457
7	64	71	-40.9429	-30.6686	1.4678
8	71	74	-30.6686	-33.1543	-0.8286
9	74	101	-33.1543	-60.9543	-1.0296
10	101	112	-60.9543	-64.0129	-0.2781
11	112	133	-64.0129	-55.7314	0.3944
12	133	141	-55.7314	-49.9514	0.7225
13	141	149	-49.9514	-52.7714	-0.3525
14	149	169	-52.7714	-68.8814	-0.8055
15	169	187	-68.8814	-67.9771	0.0502
16	187	195	-67.9771	-65.1775	0.3999

TABLE VI. THE PERCENTAGES OF THE DEVIATION AFTER CLASSIFIED

S1	S2	S3	S4	S5
2.9575	1.8892	2.4820	2.9923	2.4741

TABLE VII. THE COMPARISON RESULTS OF TIME AMONG S1 WITH S2, S3, S4, S5

Line	S2	S3	S4	S5
1	1	1	1	1
2	2	2	4	8
3	3	3	4	9
4	5	4	10	10
5	6	5	11	11
6	7	6	11	11
7	9	8	-1	-1
8	9	8	-1	-1
9	11	13	12	13
10	12	16	13	15
11	12	17	14	16

TABLE VIII. THE DEVIATION OF TIME AND POSES AMONG S1 WITH S2, S3, S4, S5

Error (%)	S2	S3	S4	S5
Pose Error	15.0314	7.3466	28.0390	13.3044
Time error	27.6923	36.4103	37.4359	38.9744

The golf swing data classification results indicated that the swing data of each player were classified having different groups of movements. When the deviation of data

classification was examined using MAPE with the real data from the sensors, the percentages of the deviation were calculated in TABLE VI.

When the data were compared in Section III, the swing data of the player S1 (experienced player or golf coach) was compared with other players' data (un-experienced players). The comparison results are shown in TABLE VII. It shows the comparison results from TABLE I to TABLE V. The results indicate the sequence of golf swing data of player S1 compared with player S2 to S5 in pairs.

The percentage of the deviation was accepted at 50%. Finally, the comparison of each pair of data (S1-S2, S1-S3, S1-S4, and S1-S5) was calculated using MAPE. The results show the deviation of poses and time in TABLE VIII.

TABLE VIII shows that the poses deviation of player S3 was the lowest, because the movement from the sensors at the upper back muscle was similar to the golf coach (player S1). According to the graph in Fig. 6, it indicates that the slope between player S1 and player S3 was quite similar in the same direction. On the other hand, the time deviation of player S2 was the lowest, because the swing time of this player was similar to player S1. Fig. 6 indicates that the slope of the swing time in player S2 similar to player S1 which is related to the results in TABLE VIII.

According to the swing patterns, the poses in each time had a specific pattern. After comparing the swing patterns of upper and lower back muscles of the golf coach with the players' patterns, it can be indicated that, the swing patterns at the upper back muscles of the players performed a higher deviation from the golf coach's patterns comparing to the lower back muscles. As this study emphasizes on the data classification process, only some parts of the data were presented that is only the swing movements of the upper back muscles were displayed. From this result, we can assume from the graph that the golf players had a wrong muscle movement which can cause muscle injury at the upper back more than the lower back muscles.

V. CONCLUSIONS

This research proposed an idea of an analysis of golf swing patterns using the movement data from Razor IMUs. The pattern analysis consisted of 2 steps: discovering of particular golf swing pattern characteristics and comparing golf swing pattern data. The golf swing pattern characteristics were observed in 2 steps: reducing the deviation of swing data and classifying them. The experimental results of golf swing pattern data were found in the linear equation form. Then, the second step was the comparison of the swing data. In this step, the two sets of data in linear were compared in order to find the similarity. The results of the comparison can indicate the deviation in each swing pose and time.

The experimental results in this paper are applicable for the users to analyze and discover the right patterns of golf swing. The swing data can group the golf players according to their poses and the movement steps at each period of time. The findings of the swing data patterns can be useful for golf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

coaches in golf training or physical therapy doctors in terms of injury predictions.

In addition, the idea of this paper can also be applied to other sports which have certain patterns e.g. baseball, tennis, and ping pong including the daily activities e.g. running, walking, walking-up stairs, and carrying heavy items. The data collection method depends on the kind of sports or activities and then can be classified according to the similarity poses.

ACKNOWLEDGMENT

This research was supported by National Research Council of Thailand (NRCT), granted in 2012. We would like to express our gratitude to Dr. Worachat Churdchomjan, the Dean of Faculty of Physical Therapy, Rangsit University, Thailand for his great support.

REFERENCES

- [1] G. S. Gluck, MD, J. A. Bendo, MD, and J. M. Spivak, MD, "The Lumbar Spine and Low Back Pain in Golf: a Literature Review of Swing Biomechanics and Injury Prevention", *The Spine Journal*, 2008, vol. 8, pp. 778-788.
- [2] I. Sirikhhan. The Model of Golf Swing (Online). Available : <http://www.golfprojack.com/> [2014, April 1].
- [3] A. Smith, J. Roberts, E. Wallace, and S. Forrester, "Professional Golf Coaches' Perceptions of the Key Technical Parameters in the Golf Swing", *Procedia Engineering*, 2012, vol. 34, pp. 224-229.
- [4] H. Negoro, M. Ueda, K. Watanabe, K. Kobayashi, and Y. Kurihara, "Measurement and Analysis of Golf Swing Using 3D Acceleration and Gyroscopic Sensors", *SICE Annual Conference 2011*, Waseda University, Tokyo, Japan, 2011, pp. 1111-1114.
- [5] C. N. K. Nam, H. J. Kang, and Y. S. Suh, "Golf Swing Motion Tracking Using Inertial Sensors and a Stereo Camera", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 63, no. 4, April 2014, pp. 943-952.
- [6] K. Shirota, K. Watanabe, and Y. Kurihara, "Measurement and analysis of golf swing using 3-D acceleration and gyro sensor", *SICE Annual Conference*, Akita University, Akita, Japan, 2012, pp. 356-360.
- [7] Y. Chen and Y. Hung, "Using Real-time Acceleration Data for Exercise Movement Training with a Decision Tree Approach", *Expert Systems with Applications*, 2012, vol. 37 (12), pp. 7552-7556.
- [8] Z. Yin, H. J. Ning, Y. Inoue, M. M. Han, and T. Liu, "A Novel Wireless Motion Sensor for analyzing Golf Swing", *IEEE Sensors*, 2013, pp. 1-4.
- [9] C. N. K. Nam, Y. S. Suh, and D. Q. Khanh, "3D Dynamics Analysis of a Golf Full Swing by Fusing Inertial Sensor and Vision data", *13th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2013)*, Kimdaejung Convention Center, Gwangju, Korea, 2013, pp. 1300-1303.
- [10] H. S. Yoon, C. S. Bae, and B. W. Min, "Neural Networks for Golf Swing Analysis from Weight-Shift", *1994. IEEE World Congress on Computational Intelligence*, Orlando, FL, USA, 1994, pp. 3083-3087.
- [11] Y. Liu, Y. Y. Chung and W. C. Yeh, "Simplified Swarm Optimization with Sorted Local Search for Golf Data Classification", *WCCI 2012 IEEE World Congress on Computational Intelligence*, Brisbane, Australia, 2012.
- [12] W. Kimpan, N. Reintrakulchai, and W. Tangwongcharoen, "Pattern Analysis of Golf Swing using Motion Sensors", *Proceedings of 2013 3rd International Conference on Computer Engineering and Bioinformatics (ICCEB)*, Thailand, 2013, pp. 44-48.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้