

การเปรียบเทียบการเคลื่อนไหวสำหรับช่วยฝึกซ้อมมวยไทย

ด้วยการเรียนรู้การมองเห็น

Vision Based Human Movement Matching

for Muay Thai Training Support System

โดย

ณพงศ์ พิพัฒน์บวรกุล

NAPONG PIPATBOWORKUL

นวิน เวชสุวรรณ

NAWIN WEDSUWAN

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิทยาการข้อมูลและการวิเคราะห์เชิงธุรกิจ

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2566

การเปรียบเทียบการเคลื่อนไหวสำหรับช่วยฝึกซ้อมมวยไทย

ด้วยการเรียนรู้การมองเห็น

Vision Based Human Movement Matching

for Muay Thai Training Support System

โดย

ณพงศ์ พิพัฒน์วรกุล

นวิน เวชสุวรรณ

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ วังศิริพิทักษ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิทยาการข้อมูลและการวิเคราะห์เชิงธุรกิจ

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2566

Vision Based Human Movement Matching

for Muay Thai Training Support System

NAPONG PIPATBOWORKUL

NAWIN WEDSUWAN

A PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF SCIENCE PROGRAM

IN DATA SCIENCE AND BUSINESS ANALYTICS

SCHOOL OF INFORMATION TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1/2023

COPYRIGHT 2023

SCHOOL OF INFORMATION TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ใบรับรองปริญญาโท ประจำปีการศึกษา 2566

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การเปรียบเทียบการเคลื่อนไหวสำหรับช่วยฝึกซ้อมมวยไทย

ด้วยการเรียนรู้การมองเห็น

Vision Based Human Movement Matching

for Muay Thai Training Support System

ผู้จัดทำ

- นายณพงศ์ พิพัฒน์บรรณกุล รหัสนักศึกษา 63070219
- นายนวิน เวชสุวรรณ รหัสนักศึกษา 63070232

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร. สมเกียรติ วังศิริพิทักษ์)

ใบรับรองโครงการ (PROJECT)

เรื่อง

การเปรียบเทียบการเคลื่อนไหวสำหรับช่วยฝึกซ้อมมวยไทย

ด้วยการเรียนรู้การมองเห็น

Vision Based Human Movement Matching

for Muay Thai Training Support System

นายณพงศ์ พิพัฒน์บวรกุล 63070219

นายณวิน เวชสุวรรณ 63070232

ขอรับรองว่ารายงานฉบับนี้ ข้าพเจ้าไม่ได้คัดลอกมาจากที่ใด

รายงานฉบับนี้ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของ

การศึกษาวิชาโครงการ หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต

(วิทยาการข้อมูลและการวิเคราะห์เชิงธุรกิจ)

ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2566

.....

(นายณพงศ์ พิพัฒน์บวรกุล)

.....

(นายณวิน เวชสุวรรณ)

หัวข้อโครงการ	การเปรียบเทียบการเคลื่อนไหวสำหรับช่วยฝึกซ้อมมวยไทยด้วยการเรียนรู้การมองเห็น	
นักศึกษา	นายณพงศ์ พิพัฒน์บวรกุล	รหัสนักศึกษา 63070219
	นายณวิน เวชสุวรรณ	รหัสนักศึกษา 63070232
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต	
สาขาวิชา	วิทยาการข้อมูลและการวิเคราะห์เชิงธุรกิจ	
ปีการศึกษา	2566	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ วงศ์ศิริพิทักษ์	

บทคัดย่อ

ความนิยมของมวยไทยเป็นที่แพร่หลายอย่างมากไม่เพียงแต่ภายในประเทศ แต่ยังเป็นที่นิยมในหมู่ชาวต่างชาติ การเปรียบเทียบการเคลื่อนไหวสำหรับช่วยฝึกซ้อมมวยไทยด้วยการเรียนรู้การมองเห็น เป็นการสร้างอัลกอริทึมที่สามารถมาช่วยตรวจจับการเคลื่อนไหวของผู้เรียนกับการเคลื่อนไหวของครูฝึก และแสดงคะแนนความเหมือนพร้อมทั้งบอกจุดที่ควรปรับปรุงเพื่อให้ผู้เรียนเคลื่อนไหวได้เหมือนกับครูฝึก

การเปรียบเทียบท่าทางจะตรวจจับผู้เรียนและครูฝึกผ่านวิดีโอที่บันทึกด้วยกล้อง และทำการสร้างโครงกระดูกเพื่อนำตำแหน่งข้อต่อมาเปรียบเทียบท่าทางระหว่างผู้เรียนและครูฝึก คำนวณคะแนนความเหมือนและจับคู่เฟรมด้วยไดนามิกไทม์วอร์ปิง โดยการเปรียบเทียบท่าทางระหว่างผู้เรียนและครูฝึกมีสองวิธี คือ การเปรียบเทียบด้วยมุมข้อพับและการเปรียบเทียบด้วยทิศทางของท่อนกระดูก การคำนวณคะแนนมีทั้งการไม่กำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก กำหนดค่าถ่วงน้ำหนักแต่ละส่วนด้วยตนเอง การกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักอัตโนมัติและฟังก์ชันเพิ่มความต่างของคะแนน ส่วนการจับคู่เฟรมด้วยไดนามิกไทม์วอร์ปิงก็สามารถกำหนดเฟรมที่สำคัญได้ จากผลการทดลองพบว่าการเปรียบเทียบด้วยทิศทางของท่อนกระดูกรวมกับการกำหนดเฟรมที่สำคัญ จะให้คะแนนเฉลี่ยกรณีผู้เรียนทำท่าทางเหมือนครูฝึกอยู่ที่ 72.83 % และคะแนนเฉลี่ยกรณีผู้เรียนทำท่าทางไม่เหมือนครูฝึกอยู่ที่ 61.84 % ซึ่งให้ความต่างระหว่างสองกรณีนี้มากที่สุดอยู่ที่ 10.89 %

Project Title	Vision Based Human Movement Matching for Muay Thai Training Support System	
Student	Mr. Napong Pipatbowornkul	Student ID 63070219
	Mr. Nawin Wedsuwan	Student ID 63070232
Degree	Bachelor of Science	
Program	Data Science and Business Analytics	
Academic Year	2023	
Advisor	Asst. Prof. Dr. Somkiat Wangsiripitak	

ABSTRACT

The popularity of Muay Thai is widespread not only within the country but also among foreigners. Comparing movements to help train Muay Thai through learning and visual perception is about creating an algorithm that can help detect the movements of students compared to those of the trainer and show similarities while indicating areas for improvement to make the student's movements more like the trainer's.

The pose comparison detects students and trainers through video recorded by cameras and creates a skeleton to compare postures between students and trainers. It calculates similarity scores and matches frames with Dynamic Time Warping. There are two ways to compare postures: comparing joint angles and comparing bone segment directions. The scoring methods include not specifying weight values, specifying weight values for each part individually, automatically setting weight values, and adding score difference functions. The Dynamic Time Warping frame matching can identify important frames. The experiment found that comparing bone segment directions combined with identifying important frames yielded an average score of 72.83% when students' movements were similar to trainers', and an average score of 61.84% when students' movements were dissimilar, resulting in the largest difference of 10.89% between these two cases.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีด้วยคำปรึกษา และคำแนะนำจาก ผศ.ดร. สมเกียรติ วังศิริพิทักษ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำแนะนำ และคอยดูแล ตั้งแต่เริ่มโปรเจก และติดตามความก้าวหน้ามาโดยตลอด จนสำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณคณาจารย์คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ช่วยเหลือ สนับสนุน ให้คำแนะนำ และคอยชี้แนะแนวทางในการแก้ปัญหาต่าง ๆ ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี

ณพงศ์ พิพัฒน์บวรกุล

นวิน เวชสุวรรณ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูปภาพ	VII
รูปที่.....	VII
หน้า.....	VII
สารบัญตาราง	X
สัญลักษณ์และความหมาย	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตของงาน	2
1.4 แผนการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 การสร้างโครงกระดูก	4
2.1.1 MediaPipe	4
2.1.2 OpenPose	5
2.2 การเปรียบเทียบท่าทาง	6
2.2.1 Normalization	6

2.2.2	การคำนวณคะแนนความเหมือนจากภาพนิ่ง	6
2.2.3	การคำนวณคะแนนความเหมือนจากวิดีโอ	8
บทที่ 3	วิธีการดำเนินการวิจัย	12
3.1	ภาพรวมการเปรียบเทียบท่าทางมวยไทย	12
3.2	การตรวจจับข้อต่อด้วย Mediapipe	13
3.3	การเตรียมข้อมูลร่างกาย	13
3.3.1	การคำนวณมุมข้อพับ	13
3.3.2	การคำนวณหาเวกเตอร์ท่อนกระดูก	14
3.4	การคำนวณคะแนนความต่างแต่ละส่วน	16
3.4.1	ความต่างของมุม	16
3.4.2	Cosine Difference	18
3.5	การคำนวณคะแนนความเหมือนแต่ละส่วน	19
3.5.1	ความเหมือนของมุม	19
3.5.2	Cosine Similarity	20
3.5.3	การเพิ่มความต่างของคะแนนด้วยฟังก์ชัน	21
3.6	การเปรียบเทียบความเหมือนทั้งร่างกาย	23
3.6.1	การรวมคะแนนความเหมือนแต่ละส่วน	23
3.6.2	ผู้ใช้งานกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักด้วยตนเอง	23
3.6.3	ระบบกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักโดยอัตโนมัติ	24
3.7	การคำนวณคะแนนความเหมือนระหว่างวิดีโอของคนสองคน	26
3.7.1	ไดนามิกไทม์วอร์ปปีง	26
3.7.2	ไดนามิกไทม์วอร์ปปีงร่วมกับเฟรมที่สำคัญ	29
บทที่ 4	ผลการศึกษา	33
4.1	สถานะแวดล้อมการทดลอง	33

4.1.1	เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	33
4.1.2	เงื่อนไขในการทดลอง	34
4.1.3	วิดีโอครูฝึกและผู้เรียน	35
4.2	การทดสอบประสิทธิภาพของ Mediapipe	38
4.3	การเปรียบเทียบท่าทางครูฝึกกับผู้เรียน	40
4.3.1	ไม่มีการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก.....	42
4.3.2	กำหนดค่าถ่วงน้ำหนักแต่ละส่วน	45
4.3.3	กำหนดค่าถ่วงน้ำหนักแต่ละส่วนอัตโนมัติ.....	47
บทที่ 5	บทสรุป.....	49
5.1	สรุปผลการทดลอง	49
5.2	ปัญหาและอุปสรรค	50
5.3	ข้อเสนอแนะ.....	50
บรรณานุกรม		51
ภาคผนวก		53
ประวัติผู้เขียน		58

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
รูปที่ 1.1 Gantt Chart แสดงแผนการดำเนินงาน	2
รูปที่ 2.1 พิกัดข้อต่อ 33 พิกัดของ MediaPipe	4
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างโครงกระดูกที่ได้จาก MediaPipe.....	5
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างโครงกระดูกที่ได้จาก OpenPose.....	6
รูปที่ 2.4 ภาพแสดงการคำนวณ Cosine Similarity	7
รูปที่ 2.5 แสดงการคำนวณมุมจากพิกัดข้อต่อ.....	8
รูปที่ 2.6 แสดงการทำงานของไดนามิกไทม์วอร์ปปีงเทียบกับการหาระยะทางแบบยูคลิด	9
รูปที่ 2.7 หน้าต่างเลือกห้องเรียน	10
รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการใช้งานระบบ	10
รูปที่ 2.9 พิกัดข้อต่อต่าง ๆ ที่ได้จากกล้อง Kinect.....	11
รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงภาพรวมของอัลกอริทึม	12
รูปที่ 3.2 จำลองการหามุมข้อพับ	13
รูปที่ 3.3 มุมข้อพับทั้งหมด 12 ข้อพับ	14
รูปที่ 3.4 จำลองการหาเวกเตอร์ท่อนกระดูก	15
รูปที่ 3.5 ท่อนกระดูกทั้งหมด 16 ท่อน	16
รูปที่ 3.6 จำลองข้อพับศรูก (ซ้าย) จำลองข้อพับผู้เรียน (ขวา).....	16
รูปที่ 3.7 ส่วนต่างระหว่างข้อพับศรูกกับข้อพับผู้เรียน	17
รูปที่ 3.8 จำลองท่อนกระดูกศรูก (ซ้าย) จำลองท่อนกระดูกผู้เรียน (ขวา).....	18
รูปที่ 3.9 วัดความต่างมุมระหว่างท่อนกระดูกศรูกกับผู้เรียน.....	18
รูปที่ 3.10 ส่วนที่เหมือนระหว่างข้อพับศรูกกับข้อพับผู้เรียน	19
รูปที่ 3.11 ลักษณะของฟังก์ชันตามสมการที่ 3.10	22
รูปที่ 3.12 ท่อนกระดูกแต่ละส่วนในการคำนวณคะแนน	24
รูปที่ 3.13 ข้อพับแต่ละส่วนในการคำนวณคะแนน	24
รูปที่ 3.14 ตัวอย่างแสดงการคำนวณค่าถ่วงน้ำหนักของเฟรมที่ i	25
รูปที่ 3.15 ภาพรวมไดนามิกไทม์วอร์ปปีง	26

รูปที่ 3.16 ภาพรวมการคำนวณความเหมือนทั้งร่างกายหนึ่งคู่เฟรม	27
รูปที่ 3.17 การหาเฟรมที่สำคัญของผู้เรียนจากเมทริกซ์ระยะทาง.....	29
รูปที่ 3.18 การจับคู่เฟรมสำคัญของผู้เรียน (รอบที่ 1).....	30
รูปที่ 3.19 การจับคู่เฟรมสำคัญของผู้เรียน (รอบที่ 2).....	31
รูปที่ 3.20 เฟรมของผู้เรียนที่ได้คะแนนความเหมือนเมื่อเทียบกับเฟรมสำคัญที่ 1 มากกว่า 0.790...31	
รูปที่ 3.21 แบ่งเมทริกซ์ระยะทางย่อยตามเฟรมที่สำคัญ	32
รูปที่ 4.1 คะแนนเฉลี่ยการเปรียบเทียบท่าทางที่เหมือนและไม่เหมือนในแต่ละ	
ขนาดมุม (Cosine similarity).....	34
รูปที่ 4.2 คะแนนเฉลี่ยการเปรียบเทียบท่าทางที่เหมือนและไม่เหมือนในแต่ละ	
ขนาดมุม (ความเหมือนของมุม)	35
รูปที่ 4.3 ตัวอย่างผู้เรียนท่าเข้าตรงหลัง	36
รูปที่ 4.4 ตัวอย่างครูฝึกท่าเข้าน้อยหน้า	36
รูปที่ 4.5 ท่าสอกเฉียงดีขึ้นหน้ามุกกล้องตรง (ซ้าย) มุกกล้องเฉียง (ขวา)	39
รูปที่ 4.6 คะแนนความเหมือนเมื่อทุกส่วนของร่างกายมีความสำคัญเท่ากัน ไม่มีการกำหนดฟังก์ชัน	
เพิ่มความต่างและไม่มีการกำหนดเฟรมที่สำคัญ (Cosine similarity).....	42
รูปที่ 4.7 คะแนนความเหมือนเมื่อทุกส่วนของร่างกายมีความสำคัญเท่ากัน ไม่มีการกำหนดฟังก์ชัน	
เพิ่มความต่างและไม่มีการกำหนดเฟรมที่สำคัญ (ความเหมือนของมุม).....	43
รูปที่ 4.8 แขนฝั่งซ้ายผู้เรียน (ซ้าย) แขนฝั่งซ้ายครูฝึก (ขวา)	43
รูปที่ 4.9 แสดงความแตกต่างระหว่าง cosine similarity กับความเหมือนของมุม	44
รูปที่ 4.10 คะแนนความเหมือนเฉลี่ยแต่ละวิธีเมื่อ ไม่มีการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก	
แบ่งตามกรณี (Cosine similarity).....	44
รูปที่ 4.11 คะแนนความเหมือนเฉลี่ยแต่ละวิธีเมื่อ ไม่มีการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก	
แบ่งตามกรณี (ความเหมือนมุม).....	45
รูปที่ 4.12 คะแนนความเหมือนเฉลี่ยแต่ละวิธีเมื่อมีการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก	
แบ่งตามกรณี (Cosine similarity).....	46
รูปที่ 4.13 คะแนนความเหมือนเฉลี่ยแต่ละวิธีเมื่อมีการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก	
แบ่งตามกรณี (ความเหมือนมุม).....	46
รูปที่ 4.14 คะแนนความเหมือนเฉลี่ยแต่ละวิธีเมื่อมีการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักอัตโนมัติ	
แบ่งตามกรณี (Cosine similarity).....	47

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ 4.15 คะแนนความเหมือนเฉลี่ยแต่ละวิธีเมื่อมีการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักอัตโนมัติ แบ่งตาม	
กรณี (ความเหมือนมุม).....	48

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างเมทริกซ์ระยะทางของไดนามิกไทม์วอร์ปปีง	27
ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างเมทริกซ์ต้นทุนของไดนามิกไทม์วอร์ปปีง	28
ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างการหาเส้นทางที่ให้ค่าผลรวมความเหมือนมากที่สุด	28
ตารางที่ 4.1 ช่วงคะแนนแต่ละขนาดของมูมที่แตกต่างกันมากที่สุด	34
ตารางที่ 4.2 จำนวนวิดีโอแต่ละท่าทาง	37
ตารางที่ 4.3 จำนวนวิดีโอแต่ละผู้เรียน	37
ตารางที่ 4.4 จำนวนวิดีโอแต่ละกรณี	38
ตารางที่ 4.5 คะแนนความเหมือน Cosine similarity จากผู้แสดงเดียวกัน ทำเดียวกัน แต่มูมกล้องแตกต่างกัน	39
ตารางที่ 4.6 คะแนนความเหมือนความเหมือนของมูม จากผู้แสดงเดียวกัน ทำเดียวกัน แต่มูมกล้องแตกต่างกัน	40
ตารางที่ 4.7 วิธีการเปรียบเทียบท่าทางครูฝึกกับผู้เรียน	41
ตารางที่ 5.1 ข้อดีข้อด้อยของแต่ละวิธี	49

สัญลักษณ์และความหมาย

สัญลักษณ์	คำอธิบายสัญลักษณ์	ความหมาย
θ	เซต้า	ขนาดมุม (องศา)
\mathbf{a}	ตัวอักษรภาษาอังกฤษ พิมพ์เล็ก ตัวหนา	เวกเตอร์แถว
$\ \mathbf{a}\ $	เส้นตรง 2 เส้นด้านหน้าและด้านหลังเวกเตอร์	ขนาดของเวกเตอร์ \mathbf{a}
a_i	ตัวอักษรภาษาอังกฤษ พิมพ์เล็ก ตัวเอียง ห้อยด้วยลำดับสมาชิก	สมาชิกตัวที่ i ของเวกเตอร์ \mathbf{a}
\hat{a}	ตัวอักษรภาษาอังกฤษ พิมพ์เล็ก มีหมวกด้านบน	ขนาดมุมของพิกัด 3 มิติ \mathbf{a} (องศา)
A	ตัวอักษรภาษาอังกฤษ พิมพ์ใหญ่ ตัวเอียง	เมทริกซ์ A
a_{ij}	ตัวอักษรภาษาอังกฤษ พิมพ์เล็ก ตัวเอียง ห้อยตัวอักษรภาษาอังกฤษ พิมพ์เล็ก	สมาชิกในแถวที่ i และหลัก j ของเมทริกซ์ A
α	อัลฟา พิมพ์เล็ก	ขนาดของมุมที่คาดว่าจะแตกต่างกันมากที่สุด
Γ	แกมมา พิมพ์ใหญ่	ฟังก์ชันความต่างของมุม (Angle Difference)
γ	แกมมา พิมพ์เล็ก	ฟังก์ชันความเหมือนของมุม (Angle Similarity)
Δ	เดลต้า พิมพ์ใหญ่	ฟังก์ชันความต่างของเวกเตอร์ (Cosine Difference)
δ	เดลต้า พิมพ์เล็ก	ฟังก์ชันความเหมือนของเวกเตอร์ (Cosine Similarity)
Λ	แลมด้า พิมพ์ใหญ่	ฟังก์ชันความต่างทั้งร่างกาย (Overall Difference)
λ	แลมด้า พิมพ์เล็ก	ฟังก์ชันความเหมือนทั้งร่างกาย (Overall Similarity)
ε	เอฟซิลอน พิมพ์เล็ก	ฟังก์ชันคำนวณคะแนนความแตกต่างแต่ละส่วน
Φ	ฟาย พิมพ์เล็ก	ฟังก์ชันคำนวณคะแนนความเหมือนแต่ละส่วน

บทที่ 1

บทนำ

มวยไทยเป็นศิลปะการต่อสู้ที่ได้รับความนิยมอย่างมากชนิดหนึ่ง การฝึกฝนมวยไทยจึงเป็นที่ได้รับความนิยมตามไปด้วย แต่ถ้าหากฝึกฝนท่าทางที่ผิดอาจเป็นผลเสียต่อผู้เรียนได้ ในบทนี้จะกล่าวถึงความสำคัญและที่มาของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขตของงาน และผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาอัลกอริทึมที่ทำให้ฝึกฝนท่าทางมวยไทยได้อย่างถูกต้อง

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

มวยไทยเป็นศิลปะการต่อสู้แขนงหนึ่งของไทยที่มีการแพร่หลาย และยังได้รับความนิยมมากขึ้นเรื่อย ๆ ในปัจจุบัน ถ้าหากพิจารณาจากการสำรวจข้อมูลนักท่องเที่ยวต่างประเทศในปี 2559 พบว่ามีชาวต่างชาติเดินทางเพื่อมาเรียนมวยไทยกว่า 40,000 ราย [1] และจากสถิติพบที่มีการสอนมวยไทยในสถานกีฬาเกือบ 4,000 แห่งใน 36 ประเทศ [2] ซึ่งสังเกตได้ว่ามวยไทยได้รับความนิยมจากต่างประเทศไม่ใช่ว่าเฉพาะในประเทศไทย และนอกจากมวยไทยจะเป็นศิลปะการต่อสู้ที่ใช้เพื่อการแข่งขันแล้ว มวยไทยยังเป็นที่นิยมในหมู่ของผู้ที่ชื่นชอบการออกกำลังกาย เนื่องจากมีการใช้หมัด เข่า สอก และเท้า ซึ่งทำให้เกิดการเคลื่อนไหวมาก [3] ทำให้มวยไทยนอกจากจะเป็นศิลปะการต่อสู้แล้วยังเป็นการออกกำลังกายรูปแบบหนึ่งที่ได้รับนิยมนิยมในปัจจุบัน ด้วยเหตุผลข้างต้นทำให้มวยไทยเป็นที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางจึงทำให้ความต้องการของครูฝึกมีเพิ่มมากขึ้น

ในปัจจุบันการใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการตรวจจับการเคลื่อนไหวเป็นที่ได้รับความนิยมสนใจอยู่ไม่น้อย โดยเฉพาะการตรวจจับการเคลื่อนไหวด้วยกล้อง จึงทำให้คณะผู้จัดทำมีความคิดในการพัฒนาอัลกอริทึมเพื่อตรวจจับการเคลื่อนไหวของผู้เรียนในท่าทางมวยไทยและให้คะแนนความเหมือนระหว่างผู้เรียนและครูฝึกพร้อมกับแสดงจุดที่ผิดพลาดให้ผู้เรียนได้ทราบ

1.2 วัตถุประสงค์

โครงการนี้จัดทำขึ้นเพื่อนำเสนอวิธีการวัดความเหมือนของท่าทางระหว่างครูฝึกและผู้เรียน เพื่อช่วยผู้เรียนเรียนรู้ท่าทางมวยไทยได้อย่างถูกต้อง โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้

- เพื่อสร้างอัลกอริทึมตรวจจับการเคลื่อนไหวของร่างกาย
- เพื่อนำเสนอวิธีการคิดค่าคะแนนต่าง ๆ

- เพื่อเปรียบเทียบท่าทางการเคลื่อนไหวของคนสองคน
- เพื่อคำนวณค่าคะแนนความเหมือนพร้อมทั้งแสดงจุดที่ควรแก้ไขจากท่าทางของคนสองคน
- เพื่อให้ผู้ที่สนใจมวยไทยสามารถเรียนรู้ท่าทางได้อย่างถูกต้อง

1.3 ขอบเขตของงาน

การใช้งานหรือการทำการทดลองต้องเป็นไปตามเงื่อนไขต่อไปนี้ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด

- สามารถใช้ได้กับกล้องทั่วไป
- วิดีโอที่ถ่ายทำจะต้องเห็นผู้ใช้งานเต็มตัว ชัดเจนตั้งแต่หัวจรดเท้า
- ผู้ใช้งานควรอยู่ห่างจากกล้องประมาณ 2 ถึง 4 เมตร
- การถ่ายทำจะต้องมีแต่ผู้เรียนหรือครูฝึกเท่านั้น
- สามารถแสดงค่าคะแนนของผู้เรียนเทียบกับครูฝึก
- สามารถแสดงจุดที่ควรแก้ไข

1.4 แผนการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	ม.ค. 66	ก.พ. 66	มี.ค. 66	เม.ย. 66	พ.ค. 66	ก.ค. 66	ส.ค. 66	ก.ย. 66	ต.ค. 66
ศึกษาและค้นคว้างานวิจัยที่มีอยู่และเกี่ยวข้องกับหัวข้อโครงการ									
รวบรวมและจัดทำชุดข้อมูล									
ทำการทดลองจากวิธีการที่ศึกษามา									
สรุปผลและจัดทำรายงาน									

รูปที่ 1.1 Gantt Chart แสดงแผนการดำเนินงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- สามารถนำไปต่อยอดเป็นแอปพลิเคชันฝึกฝนมวยไทยที่สามารถเปรียบเทียบท่าทางครูฝึกและผู้เรียน ให้คะแนนความเหมือน แสดงจุดที่ควรแก้ไข และช่วยให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ท่าทางได้อย่างถูกต้อง
- สามารถนำไปปรับใช้กับกีฬา หรือการเคลื่อนไหวต่าง ๆ ได้

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

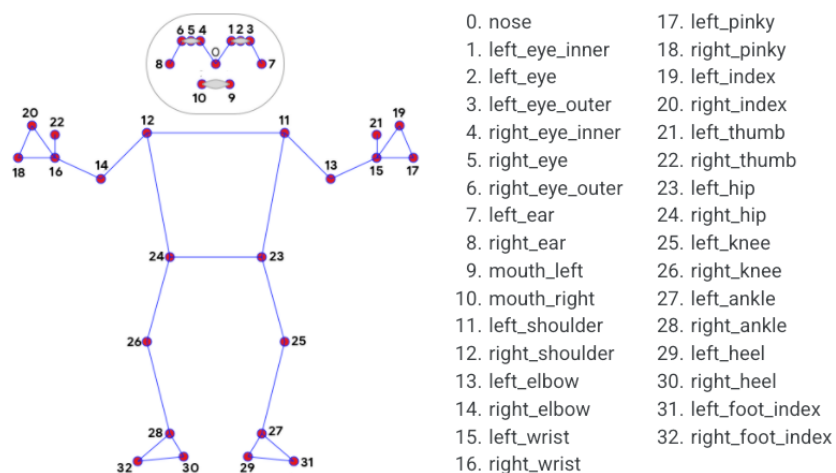
ในการศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องจะกล่าวถึงการสร้างโครงกระดูก การคำนวณในรูปแบบ 2 และ 3 มิติ การเปรียบเทียบท่าทางการเคลื่อนไหว และหลักการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง รวมถึงการศึกษาแอปพลิเคชันก่อนหน้านี้ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับโครงงานนี้

2.1 การสร้างโครงกระดูก

ปัจจุบันมีการศึกษาเกี่ยวกับการสร้างโครงกระดูกมากมาย ในที่นี้จะกล่าวถึงไลบรารี (Library) ที่ได้มีการจัดทำไว้แล้ว 2 ไลบรารีได้แก่ MediaPipe และ OpenPose

2.1.1 MediaPipe

MediaPipe [4] เป็นไลบรารีที่ใช้ในการตรวจจับและสร้างโครงกระดูกโดยใช้หลักการ Top-down approach โดย Top-down approach จะทำการหาบริเวณที่มีคนภายในภาพ หลังจากนั้นจึงทำการหาพิกัดของข้อต่อโดยใช้ BlazePose [5] ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่ใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อประมาณพิกัดของข้อต่อ ผลลัพธ์ที่ได้จาก MediaPipe คือ พิกัด 3 มิติของข้อต่อทั้งหมด 33 ข้อต่อตามรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 พิกัดข้อต่อ 33 พิกัดของ MediaPipe

(ที่มา: [Pose landmarks detection task guide](#) [4])



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างโครงกระดูกที่ได้จาก MediaPipe

(ที่มา: [Pose landmarks detection task guide](#) [4])

ในการใช้ไลบรารี MediaPipe ยังมีข้อจำกัดตรงที่สามารถสร้างโครงกระดูกได้เพียงคนเดียวเท่านั้น ทำให้กรณีที่มีหลายคนในหนึ่งเฟรมอาจจะต้องทำกระบวนการเพิ่มเติม แต่อย่างไรก็ตามข้อดีของ MediaPipe ก็มีเช่นกัน MediaPipe เป็นไลบรารีที่จะตรวจจับพิกัดแต่ละข้อต่อออกมาในรูปแบบเวกเตอร์ของ x, y, z หรือก็คือเวกเตอร์ 3 มิติ โดยที่ใช้อยู่ในการถ่ายเพียงตัวเดียวและมุมเดียว

2.1.2 OpenPose

OpenPose [6] เป็นไลบรารีที่สามารถตรวจจับและสร้างโครงกระดูกสำหรับหลายคนในรูปแบบ 2 มิติ OpenPose ใช้หลักการ Bottom-up approach ซึ่งเป็นหลักการที่หาข้อต่อทุกข้อต่อแล้วจึงเชื่อมโยงแต่ละข้อต่อด้วย Part Affinity Fields (PAFs)



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างโครงกระดูกที่ได้จาก OpenPose

(ที่มา: [OpenPose Documentation](#) [6])

OpenPose เหมาะสำหรับกรณีที่ต้องการฝึกข้อต่อ 2 มิติของคนหลายคนในหนึ่งเฟรมซึ่งถ้าหากต้องการฝึกข้อต่อ 3 มิติ OpenPose สามารถทำได้แต่ต้องอาศัยกล้อง 2 ตัวถ่ายทำในมุมที่กำหนด การหาฝึกข้อต่อ 3 มิติด้วยกล้องเพียงตัวเดียวและใช้มุมในการถ่ายภาพมุมเดียวอาจจะต้องทำกระบวนการเพิ่มเติม

2.2 การเปรียบเทียบท่าทาง

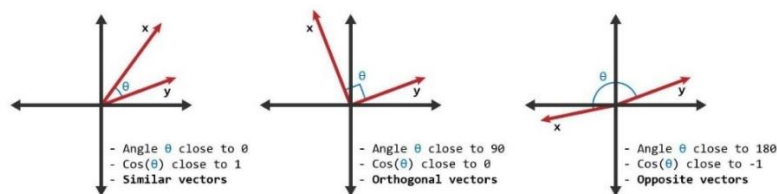
ในขั้นตอนนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการการเปรียบเทียบท่าทางตั้งแต่การเตรียมข้อมูล การคำนวณคะแนนความเหมือนระหว่างภาพนิ่ง และการคำนวณคะแนนความเหมือนระหว่างวิดีโอ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาต่อไป

2.2.1 Normalization

เนื่องจากวิดีโอหรือรูปภาพที่รับเข้ามาเพื่อเปรียบเทียบท่าทางมีขนาดที่หลากหลาย และตำแหน่งของผู้เรียนหรือครูฝึกอาจแตกต่างกัน Romeo Sajina และ Marina Ivasic Kos [7] เสนอให้ทำขนาดรูปของผู้ที่ถูกตรวจจับในการสร้างโครงกระดูกให้เท่ากัน และ Normalize พิกัดของข้อต่อด้วย L2 Normalization

2.2.2 การคำนวณคะแนนความเหมือนจากภาพนิ่ง

Romeo Sajina และ Marina Ivasic Kos [7] เสนอ Cosine Similarity [8] ซึ่งใช้คุณสมบัติของผลคูณเชิงสเกลาร์เพื่อหามุมระหว่าง 2 เวกเตอร์โดยจะได้ผลลัพธ์ตั้งแต่ -1 ถึง 1 ซึ่งยิ่ง Cosine Similarity มีค่าเข้าใกล้ 1 หมายความว่าเวกเตอร์ทั้งสองมีทิศทางไปในทางเดียวกัน รูปที่ 2.4 และสมการที่ 2.1 แสดงการคำนวณ Cosine Similarity



รูปที่ 2.4 ภาพแสดงการคำนวณ Cosine Similarity

(ที่มา: Cosine Similarity [9])

จากรูปที่ 2.4 สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ 2.1

$$\cos \theta = \frac{\mathbf{x} \cdot \mathbf{y}}{\|\mathbf{x}\| \|\mathbf{y}\|} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n y_i^2}} \quad (2.1)$$

โดยที่ \mathbf{x} คือ เวกเตอร์ x

\mathbf{y} คือ เวกเตอร์ y

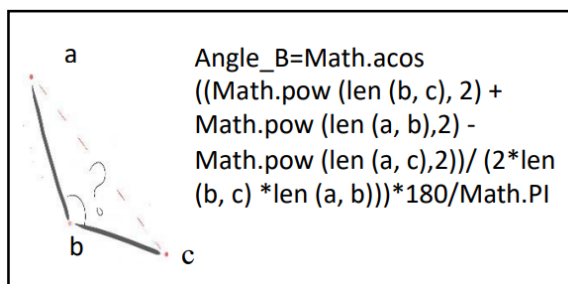
$\|\mathbf{x}\|$ คือ ขนาดของเวกเตอร์ \mathbf{x}

$\|\mathbf{y}\|$ คือ ขนาดของเวกเตอร์ \mathbf{y}

x_i คือ สมาชิกของเวกเตอร์ \mathbf{x} ตัวที่ i

y_i คือ สมาชิกของเวกเตอร์ \mathbf{y} ตัวที่ i

Pradnya Krishnanath Borkar, Marilyn Mathew Pulinthitha และ Ashwini Pansare [10] ได้พัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน MatchPose ที่ให้ผู้ใช้เลือกรูปภาพท่าทางที่ต้องการเปรียบเทียบ โดยจะนำรูปภาพที่ผู้ใช้เลือกมาเปรียบเทียบกับวิดีโอจากกล้อง webcam ด้วยหลักการโคไซน์ดังรูปที่ 2.5 และสมการที่ 2.2 ซึ่งจะทำการหามุมทั้งหมด 4 มุม ได้แก่ มุมข้อศอก มุมเข่า มุมสะโพก มุมหัวไหล่ โดยจะใช้ฟังก์ชันของข้อต่อที่เกี่ยวข้องในการหาค่าตำแหน่งของท่อนแขนและท่อนขาควบคู่ไปด้วยเพื่อทราบทิศทางของแขนและขาว่าหมุนเข้าหรือหมุนออกจากลำตัว



รูปที่ 2.5 แสดงการคำนวณมุมจากพิกัดข้อต่อ

(ที่มา: Match Pose - A System for Comparing Poses [10])

จากรูปที่ 2.5 สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ 2.2

$$\hat{b} = \frac{\arccos\left(\frac{\|\mathbf{b}-\mathbf{c}\|^2 + \|\mathbf{a}-\mathbf{b}\|^2 - \|\mathbf{a}-\mathbf{c}\|^2}{2 \times \|\mathbf{b}-\mathbf{c}\| \times \|\mathbf{a}-\mathbf{b}\|}\right) \times 180}{\pi} \quad (2.2)$$

โดยที่ \hat{b} คือ มุมของข้อพับ b

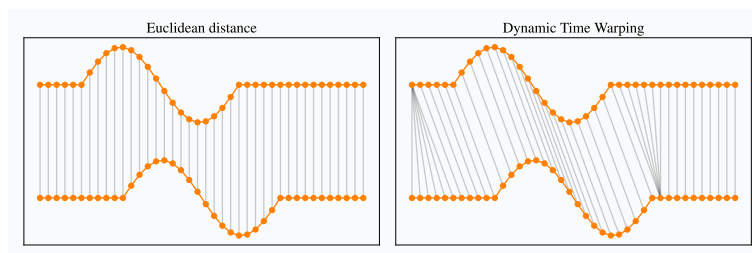
a, b และ **c** คือ พิกัด 3 มิติของข้อพับตามรูปที่ 2.5

2.2.3 การคำนวณคะแนนความเหมือนจากวิดีโอ

การเปรียบเทียบท่าทางระหว่างคนสองคนที่เป็นวิดีโอหรือลำดับภาพที่มีความยาวไม่เท่ากัน ทำให้ท่าทางที่ต้องการเปรียบเทียบอยู่ในลำดับเวลาที่แตกต่างกัน Romeo Sajina และ Marina Ivasic Kos [7] ได้เสนอไดนามิกไทม์วอร์ปิง (Dynamic Time Warping) หรือ DTW ร่วมกับ Cosine Similarity เพื่อเป็นการเปรียบเทียบเฉพาะส่วนที่คล้ายกันมากที่สุดในวิดีโอ

2.2.3.1 ไดนามิกไทม์วอร์ปิง (Dynamic Time Warping)

ไดนามิกไทม์วอร์ปิงได้รับความนิยมอย่างมากในการเปรียบเทียบความเหมือนของอนุกรมเวลา (Time-series) โดยจะหาลักษณะที่คล้ายกันในแต่ละช่วงรูปที่ 2.6 แสดงการทำงานของไดนามิกไทม์วอร์ปิงเทียบกับการหาระยะทางแบบยูคลิด (Euclidean Distance)



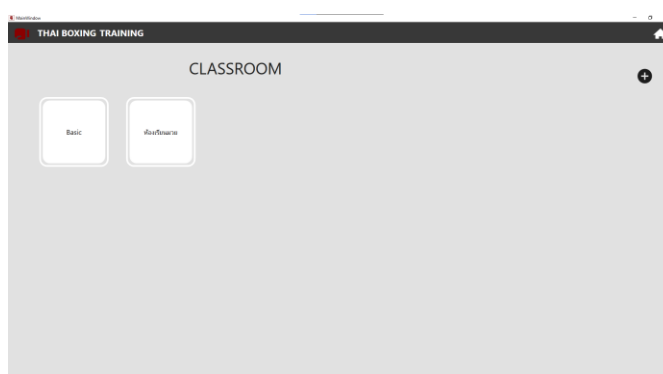
รูปที่ 2.6 แสดงการทำงานของไดนามิกไทม์วอร์ปิงเทียบกับการหาระยะทางแบบยุคลิด

(ที่มา: R. Tavenard. An introduction to Dynamic Time Warping [11])

จากรูปที่ 2.6 ถ้ากำหนดให้เส้นบนและเส้นล่างแทนเวกเตอร์ จุดสีส้มแทนสมาชิกในเวกเตอร์ การหาระยะทางแบบยุคลิดจะจับคู่สมาชิกตัวที่ i จากทั้ง 2 เวกเตอร์ แต่การหาระยะทางแบบไดนามิกไทม์วอร์ปิงจะจับคู่สมาชิกตัวที่มีความใกล้เคียงกันมากที่สุด อัลกอริทึมของไดนามิกไทม์วอร์ปิง [12] เบื้องต้นมีลักษณะดังนี้

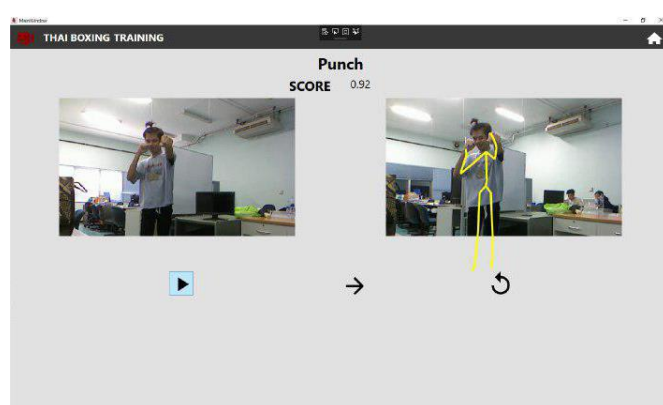
- i. กำหนด $\mathbf{x} = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_m)$ เป็นเวกเตอร์อนุกรมเวลาที่ 1 และ $\mathbf{y} = (y_1, y_2, y_3, \dots, y_n)$ เป็นเวกเตอร์อนุกรมเวลาที่ 2
- ii. สร้างเมทริกซ์ C ขนาด $m \times n$ โดยภายในเมทริกซ์จะเป็นค่าระยะทางของสมาชิกทุกตัวระหว่าง \mathbf{x} และ \mathbf{y} เรียกเมทริกซ์นี้ว่า เมทริกซ์ต้นทุนท้องถิ่น (Local cost matrix)
- iii. หาเส้นทางเรียงตัว (Alignment path) โดยจะเลือกคู่สมาชิกที่มีระยะทางน้อยที่สุด ซึ่งเส้นทางเรียงตัวจะต้องสอดคล้องกับเงื่อนไขต่อไปนี้
 - จุดเริ่มต้นจะต้องเป็น c_{00} และจุดสิ้นสุดต้องเป็น c_{mn}
 - ลำดับคู่สมาชิกภายในเส้นทางจะต้องเพิ่มขึ้นหรือเท่าเดิม ไม่ลดลง
 - คู่สมาชิกภายในเส้นทางจะต้องเรียงตัวไปทีละตัว ไม่มีการข้ามสมาชิกภายใน \mathbf{x} หรือ \mathbf{y}

เบญจรัตน์ ฉันทะประเสริฐ และเผด็จพงศ์ ชุ่มชื่น [13] ได้พัฒนาแอปพลิเคชันฝึกฝนมวยไทยด้วยกล้องไคเนค (Kinect) โดยครูฝึกสามารถเพิ่มท่าทางไปยังฐานข้อมูลเพื่อให้ผู้เรียนฝึกฝนได้ ซึ่งลักษณะของแอปพลิเคชันจะแบ่งออกเป็นห้องเรียนให้ผู้เรียนได้เลือกฝึกตามท่าที่ตนเองต้องการ โดยภายในห้องเรียนจะแสดงวิดีโอท่าทางของครูฝึกที่ได้บันทึกไว้ในตอนต้น หลังจากนั้นจะให้ผู้เรียนแสดงท่าทางตามครูฝึก เพื่อแสดงค่าคะแนนความเหมือนพร้อมทั้งแสดงส่วนที่ควรแก้ไข



รูปที่ 2.7 หน้าต่างเลือกห้องเรียน

(ที่มา: “ระบบฝึกท่าทางมวยไทย” โดย เบญจรัตน์ ฉันทะประเสริฐ และเผด็จพงศ์ ชุ่มชื่น, 2019, กรุงเทพฯ [13])

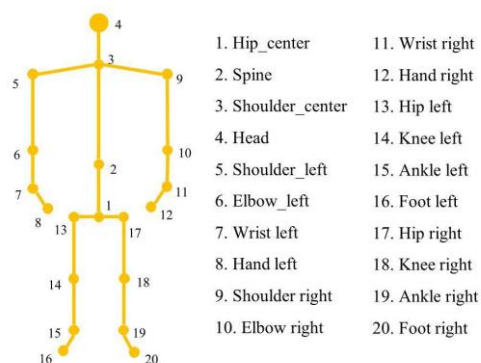


รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการใช้งานระบบ

(ที่มา: “ระบบฝึกท่าทางมวยไทย” โดย เบญจรัตน์ ฉันทะประเสริฐ และเผด็จพงศ์ ชุ่มชื่น, 2019, กรุงเทพฯ [13])

รูปที่ 2.7 และรูปที่ 2.8 คือตัวอย่างแอปพลิเคชันที่ เบญจรัตน์ ฉันทะประเสริฐ และเผด็จ พงศ์ ชุ่มชื่น ได้พัฒนาขึ้นเพื่อวัดความเหมือนของท่าทางมวยไทย

การคำนวณคะแนนความเหมือนของระบบนี้จะใช้หลักการไดนามิกไทม์วอร์ปิง (Dynamic Time Warping) ร่วมกับ Cosine Similarity โดยในแต่ละเฟรมจะนำพิกัด 3 มิติของทั้ง 20 ข้อต่อดังรูปที่ 2.9 มาทำการจัดลำดับโครงร่างโดยเริ่มจากข้อต่อสะโพกเพื่อทำการหาเวกเตอร์จากข้อต่อหนึ่งไปยังข้อต่อหนึ่งหลังจากนั้นนำเวกเตอร์ที่ได้ไป Normalize ให้อยู่ในรูปเวกเตอร์หนึ่งหน่วยและทำการหาค่า Cosine Similarity ระหว่างเวกเตอร์ นำผลรวมของการคำนวณทุกเวกเตอร์มาเป็นคะแนนความเหมือน หลังจากนั้นจะเปรียบเทียบความเหมือนของ ครูฝึกและผู้เรียนด้วยหลักการไดนามิกไทม์วอร์ปิง เพื่อเป็นการเปรียบเทียบความเหมือนของท่าทางแม้วิดีโอทั้งสองจะมีเฟรมที่ต่างกัน



รูปที่ 2.9 พิกัดข้อต่อต่าง ๆ ที่ได้จากกล้อง Kinect

(ที่มา: “ระบบฝึกท่าทางมวยไทย” โดย เบญจรัตน์ ฉันทะประเสริฐ และเผด็จ พงศ์ ชุ่มชื่น, 2019, กรุงเทพฯ [13])

จากแนวคิดที่ได้นำเสนอมานี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับการตรวจจับข้อต่อจากไลบรารีในหัวข้อ 2.1.1 และ 2.1.2 ทำให้ระบบใช้งานได้สะดวกขึ้นโดยเปลี่ยนจากการใช้กล้อง Kinect เป็นกล้อง Webcam

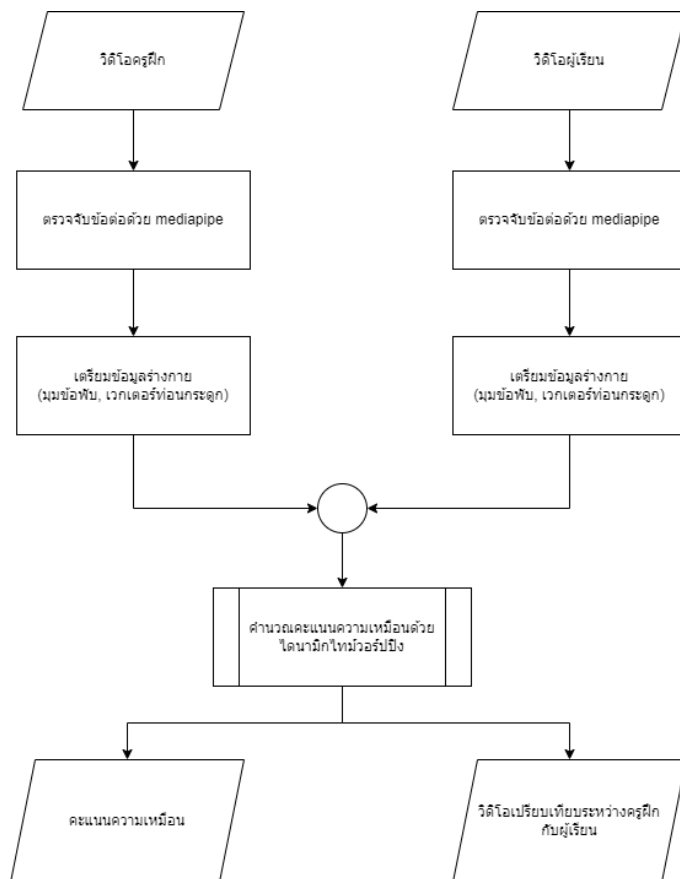
บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงภาพรวมและขั้นตอนการดำเนินงานทั้งหมดตั้งแต่การรับวิดีโอของครูฝึกและผู้เรียน จนกระทั่งแสดงรูปภาพเปรียบเทียบท่าทางระหว่างครูฝึกและผู้เรียน

3.1 ภาพรวมการเปรียบเทียบท่าทางมวยไทย

ระบบจะตรวจจับตำแหน่งข้อต่อจากวิดีโอครูฝึกและผู้เรียนที่ถูกป้อนเข้ามาเพื่อนำมาคำนวณคะแนนความเหมือนระหว่างครูฝึกและผู้เรียน ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงภาพรวมของอัลกอริทึม

3.2 การตรวจจับข้อต่อด้วย Mediapipe

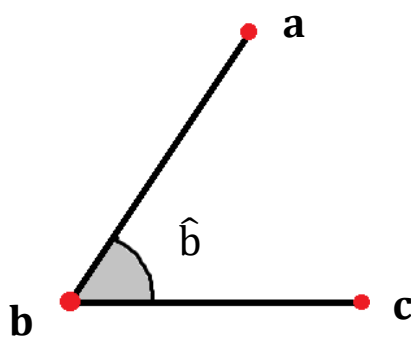
การตรวจจับข้อต่อของร่างกายเพื่อนำไปคำนวณคะแนนความเหมือน โดยใช้ MediaPipe ในการหาพิคัด 3 มิติของแต่ละข้อต่อของผู้เรียนและครูฝึก ซึ่งมีทั้งหมด 33 ข้อต่อดังรูปที่ 2.1

3.3 การเตรียมข้อมูลร่างกาย

การเตรียมข้อมูลร่างกายคือ การนำพิคัดข้อต่อทั้งหมดที่ตรวจจับได้ในหัวข้อ 3.2 มาคำนวณเพื่อให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถนำไปคำนวณคะแนนความเหมือนระหว่างครูฝึกและผู้เรียน โดยการเตรียมข้อมูลร่างกายแบ่งออกเป็น 2 วิธีคือ การคำนวณมุมข้อพับและเวกเตอร์ท่อนกระดูก โดยการคำนวณมุมข้อพับเป็นการเตรียมข้อมูลเพื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างมุมข้อพับครูฝึกกับผู้เรียนและการคำนวณเวกเตอร์ท่อนกระดูกเป็นการเตรียมข้อมูลเพื่อทำการเปรียบเทียบทิศทางของท่อนกระดูกระหว่างครูฝึกกับผู้เรียนตามหลัก Cosine similarity

3.3.1 การคำนวณมุมข้อพับ

การคำนวณมุมข้อพับจะอาศัยพิคัดข้อต่อ 3 ข้อต่อเพื่อคำนวณมุมข้อพับ โดยมุมที่ได้จะเป็นมุมของข้อต่อ **b**



รูปที่ 3.2 จำลองการหามุมข้อพับ

จากรูปที่ 3.2 สามารถเขียนเป็นสมการที่ 3.1 แสดงการคำนวณมุมข้อพับ **b**

$$\hat{b} = \arccos \left(\frac{\mathbf{a}-\mathbf{b}}{\|\mathbf{a}-\mathbf{b}\|} \cdot \frac{\mathbf{c}-\mathbf{b}}{\|\mathbf{c}-\mathbf{b}\|} \right) \quad (3.1)$$

โดยที่ \hat{b} คือ มุมของข้อต่อ **b**

a คือ พิกัด 3 มิติของข้อต่อ **a**

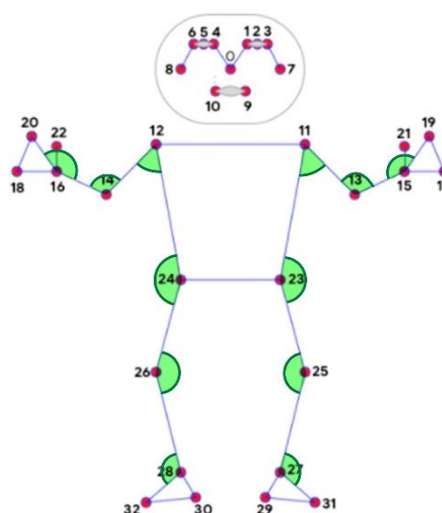
b คือ พิกัด 3 มิติของข้อต่อ **b**

c คือ พิกัด 3 มิติของข้อต่อ **c**

$\|a-b\|$ คือ ขนาดของเวกเตอร์จากพิกัด **b** ไปพิกัด **a**

$\|c-b\|$ คือ ขนาดของเวกเตอร์จากพิกัด **b** ไปพิกัด **c**

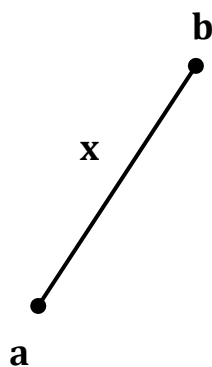
ซึ่งต้องคำนวณมุมให้ครบทั้ง 12 ข้อพับ ได้แก่ ข้อมือซ้าย ข้อมือขวา ศอกซ้าย ศอกขวา ไหล่ซ้าย ไหล่ขวา สะโพกซ้าย สะโพกขวา เข่าซ้าย เข่าขวา ข้อเท้าซ้าย และข้อเท้าขวา ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 มุมข้อพับทั้งหมด 12 ข้อพับ

3.3.2 การคำนวณหาเวกเตอร์ท่อนกระดูก

การคำนวณหาท่อนกระดูกจะอาศัยพิกัดข้อต่อ 2 ข้อต่อที่เป็นส่วนต้นของท่อนกระดูกและส่วนปลายของท่อนกระดูก



รูปที่ 3.4 จำลองการหาเวกเตอร์ที่่อนกระดูก

จากรูปที่ 3.4 สามารถเขียนเป็นสมการที่ 3.2 แสดงการคำนวณที่่อนกระดูก **x**

$$\mathbf{x} = \mathbf{b} - \mathbf{a} \quad (3.2)$$

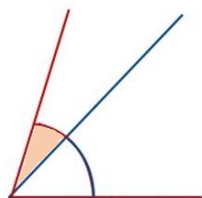
โดยที่ **x** คือ เวกเตอร์ที่่อนกระดูกจากพิกัด **a** ไปพิกัด **b**

a คือ พิกัด 3 มิติที่เป็นจุดเริ่มต้นของที่่อนกระดูก **x**

b คือ พิกัด 3 มิติที่เป็นจุดปลายของที่่อนกระดูก **x**

โดยคำนวณทั้งหมด 16 ที่่อน ได้แก่ นิ้วชี้เท้าซ้ายไปยังข้อเท้าซ้าย นิ้วชี้เท้าขวาไปยังข้อเท้าขวา ข้อเท้าซ้ายไปยังเข่าซ้าย ข้อเท้าขวาไปยังเข่าขวา เข่าซ้ายไปยังสะโพกซ้าย เข่าขวาไปยังสะโพกขวา สะโพกซ้ายไปยังไหล่ซ้าย สะโพกขวาไปยังไหล่ขวา นิ้วชี้ซ้ายไปยังข้อมือซ้าย นิ้วชี้ขวาไปยังข้อมือขวา ข้อมือซ้ายไปยังศอกซ้าย ข้อมือขวาไปยังศอกขวา ศอกซ้ายไปยังไหล่ซ้าย ศอกขวาไปยังไหล่ขวา ไหล่ซ้ายไปยังไหล่ขวา และสะโพกซ้ายไปยังสะโพกขวา รูปที่ 3.5 แสดงที่่อนกระดูกทั้ง 16 ที่่อน

นำข้อพิพาทที่ผ่านการคำนวณมุมของข้อพิพาทในหัวข้อ 3.3.1 ของครูฝึกและผู้เรียนมาหาส่วนต่าง ดังส่วนที่เรารูปที่ 3.7 และสมการที่ 3.3



รูปที่ 3.7 ส่วนต่างระหว่างข้อพิพาทครูฝึกกับข้อพิพาทผู้เรียน

สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\Gamma_{ab} = \frac{|\hat{a} - \hat{b}|}{\alpha} \quad (3.3)$$

โดยที่ Γ_{ab} คือ คะแนนความต่างของมุมข้อพิพาทครูฝึกกับผู้เรียน

\hat{a} คือ มุมข้อพิพาทของครูฝึก

\hat{b} คือ มุมข้อพิพาทของผู้เรียน

α คือ ขนาดของมุมที่คาดว่าจะแตกต่างกันได้มากที่สุด โดยที่

$$\alpha \in (0, 180]$$

สมการที่ 3.3 $|\hat{a} - \hat{b}|$ มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 180 เนื่องจากร่างกายมนุษย์โดยทั่วไปแล้วสามารถทำมุมได้มากที่สุด 180 องศา แต่ในความเป็นจริงผู้เรียนจะพยายามทำท่าทางให้คล้ายกับครูฝึก ดังนั้นการให้คะแนนความต่างของมุมด้วยการกำหนด $\alpha = 180$ จะได้ $\Gamma \in [0, 1]$ ซึ่งคะแนนที่ได้จะมีความใกล้เคียงกันทำให้ไม่เห็นความแตกต่างเล็กน้อยที่อาจเกิดขึ้นได้ ซึ่งถ้าหากกำหนดให้ α น้อยกว่า 180 จะทำให้เห็นความแตกต่างเล็กน้อยนั้นได้ เช่น กำหนดให้ $\alpha = 45$ ช่วงความต่างของมุมจะได้ $|\hat{a} - \hat{b}| \in [0, 45]$ และส่วนที่เกิน 45 องศาจะเป็น $[45, 180]$ เป็นส่วนที่เพิ่มความต่างให้เห็นชัดขึ้น เมื่อนำทั้งสองส่วนหารด้วย $\alpha = 45$ จะได้ช่วงคะแนนความต่าง $\Gamma \in [0, 1] \cup (1, 4]$

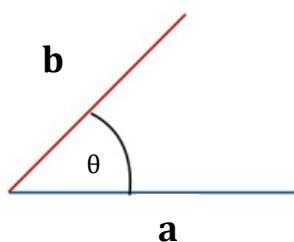
3.4.2 Cosine Difference

การให้คะแนนความต่างระหว่างเวกเตอร์ท่อนกระดูกครูฝึกและผู้เรียน



รูปที่ 3.8 จำลองท่อนกระดูกครูฝึก (ซ้าย) จำลองท่อนกระดูกผู้เรียน (ขวา)

นำเวกเตอร์ท่อนกระดูกที่ได้จากการคำนวณในหัวข้อ 3.3.2 มาคำนวณหาขนาดของมุมระหว่างเวกเตอร์ท่อนกระดูกครูฝึกและผู้เรียน ดังรูปที่ 3.9 และสมการที่ 3.4



รูปที่ 3.9 วัดความต่างมุมระหว่างท่อนกระดูกครูฝึกกับผู้เรียน

$$\Delta_{ab} = \frac{1 - \left(\frac{\mathbf{a} \cdot \mathbf{b}}{\|\mathbf{a}\| \|\mathbf{b}\|} \right)}{1 - \cos(\alpha)} \quad (3.4)$$

โดยที่ Δ_{ab} คือ คะแนนความต่างของท่อนกระดูกครูฝึกกับผู้เรียน

\mathbf{a} คือ เวกเตอร์ท่อนกระดูกของครูฝึก

\mathbf{b} คือ เวกเตอร์ท่อนกระดูกของผู้เรียน

$\|\mathbf{a}\|$ คือ ขนาดของเวกเตอร์ท่อนกระดูกของครูฝึก

||b|| คือ ขนาดของเวกเตอร์ท่อนกระดูกของผู้เรียน

α คือ ขนาดของมุมที่คาดว่าจะแตกต่างกันมากที่สุด โดยที่

$$\alpha \in (0, 180]$$

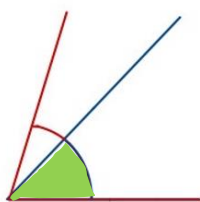
โดยความต่างมุมระหว่างเวกเตอร์ท่อนกระดูกของครูฝึกกับผู้เรียนมีขนาด 0 ถึง 180 ทำให้ได้ช่วงคะแนนความต่างอยู่ที่ 1 ถึง 2 เช่นเดียวกับความต่างของมุมหากผู้ใช้งาน คาดว่าขนาดของมุมที่ต่างกันมากที่สุดไม่ใช่ 180 องศา สามารถกำหนด α เพื่อเป็นการขยาย ช่วงของคะแนนทำให้แสดงความต่างได้มากขึ้นได้

3.5 การคำนวณคะแนนความเหมือนแต่ละส่วน

การให้คะแนนความเหมือนแต่ละส่วนคือ การนำมุมข้อพับหรือท่อนกระดูกของครูฝึกและผู้เรียนที่เป็นส่วนเดียวกันในแต่ละเฟรมของวิดีโอมาเปรียบเทียบเพื่อหาคะแนนความเหมือน โดย มุมข้อพับจะให้คะแนนความเหมือนด้วยการวัดความเหมือนของมุม และเวกเตอร์ท่อนกระดูกจะให้ คะแนนความเหมือนด้วย Cosine Similarity

3.5.1 ความเหมือนของมุม

การให้คะแนนความเหมือนโดยหาส่วนกลับของความต่างของมุม (3.4.1)



รูปที่ 3.10 ส่วนที่เหมือนระหว่างข้อพับครูฝึกกับข้อพับผู้เรียน

จากรูปที่ 3.10 สามารถหาส่วนที่แรเงาได้จากการนำขนาดของมุมที่แตกต่างกันมากที่สุด (α) ลบด้วยคะแนนความต่างของมุม (Γ) เพื่อเปลี่ยนจากคะแนนความต่างเป็น คะแนนความเหมือน (γ) ดังสมการที่ 3.5

$$\gamma = \alpha - \Gamma \quad (3.5)$$

ทำให้ $\gamma \in [\alpha, 0] \cup (0, \alpha - 180]$ จากนั้นนำ γ หาค่าด้วย α เพื่อให้คะแนนความเหมือนที่ต้องการอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 และอีกช่วงเป็นคะแนนติดลบหากขนาดของมุมที่เปรียบเทียบแล้วแตกต่างมากกว่าขนาดของมุมที่คาดว่าจะแตกต่างมากที่สุด ทำให้ $\gamma \in [1, 0] \cup (0, \frac{\alpha-180}{\alpha}]$ ซึ่งการหาค่าคะแนนความเหมือนของมุมสามารถเขียนอยู่ในรูปทั่วไปได้ ดังสมการที่ 3.6

$$\gamma_{ab} = \frac{(\alpha - (|\hat{a} - \hat{b}|))}{\alpha} \quad (3.6)$$

โดยที่ γ_{ab} คือ คะแนนความเหมือนของมุมข้อพับครูฝึกกับผู้เรียน

\hat{a} คือ มุมข้อพับของครูฝึก

\hat{b} คือ มุมข้อพับของผู้เรียน

α คือ ขนาดของมุมที่คาดว่าจะแตกต่างได้มากที่สุด โดยที่

$$\alpha \in (0, 180]$$

3.5.2 Cosine Similarity

การให้คะแนนความเหมือนระหว่างเวกเตอร์ท่อนกระดูกครูฝึกและผู้เรียน โดยจะนำเวกเตอร์ท่อนกระดูกที่ได้จากการคำนวณในหัวข้อ 3.3.2 มาคำนวณหาขนาดของมุมระหว่างเวกเตอร์ท่อนกระดูกครูฝึกกับผู้เรียน ดังรูปที่ 3.9 และสมการที่ 3.7

$$\delta_{ab} = \cos(\theta) = \frac{\mathbf{a} \cdot \mathbf{b}}{\|\mathbf{a}\| \|\mathbf{b}\|} \quad (3.7)$$

โดยที่ δ_{ab} คือ คะแนนความเหมือนของท่อนกระดูกครูฝึกกับผู้เรียน

\mathbf{a} คือ เวกเตอร์ท่อนกระดูกของครูฝึก

\mathbf{b} คือ เวกเตอร์ท่อนกระดูกของผู้เรียน

$\|\mathbf{a}\|$ คือ ขนาดของเวกเตอร์ท่อนกระดูกของครูฝึก

$\|\mathbf{b}\|$ คือ ขนาดของเวกเตอร์ท่อนกระดูกของผู้เรียน

มุมระหว่างเวกเตอร์ท่อนกระดูกของครูฝึกกับผู้เรียนมีขนาด 0 ถึง 180 ทำให้ $\delta \in [-1, 1]$ โดยผู้จัดทำคาดว่าขนาดของมุมที่ต่างกันมากที่สุดน้อยกว่า 180 เพื่อให้ช่วง

คะแนนที่ต้องการอยู่ภายในขนาดของมุมที่ได้คาดไว้ การกำหนดขนาดของมุมที่คาดว่าจะแตกต่างกันที่สุด (α) สามารถทำได้โดยแบ่งช่วงคะแนนความเหมือนเป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงคะแนนที่ต้องการคือ ช่วง 0 ถึง ขนาดมุมที่คาดว่าจะแตกต่างกันที่สุด และช่วงที่ขนาดของมุมเกินกว่าที่คาดไว้คือ ขนาดมุมที่คาดว่าจะแตกต่างกันที่สุดถึง 180 จะได้ $\delta \in [-1, \cos(\alpha)) \cup [\cos(\alpha), 1]$ จากนั้น Min-max Normalize คะแนนที่อยู่ในช่วงแรกให้อยู่ในช่วง 0 ถึง 1 สมการที่ 3.8 แสดงวิธีการ Min-max Normalize

$$\delta_{Norm} = \frac{\delta - \delta_{min}}{\delta_{max} - \delta_{min}} \quad (3.8)$$

และอีกช่วงเป็นคะแนนติดลบหากท่อนกระดูกระหว่างครูฝึกกับผู้เรียนมีขนาดมุมมากกว่าขนาดของมุมที่คาดว่าจะแตกต่างได้มากที่สุด ดังนั้นจะได้ช่วงคะแนนดังนี้

$$\delta_{Norm} \in \left[\frac{-1 - \cos(\alpha)}{1 - \cos(\alpha)}, \frac{\cos(\alpha) - \cos(\alpha)}{1 - \cos(\alpha)} \right) \cup \left[\frac{\cos(\alpha) - \cos(\alpha)}{1 - \cos(\alpha)}, \frac{1 - \cos(\alpha)}{1 - \cos(\alpha)} \right]$$

สามารถเขียนอยู่ในรูปทั่วไปได้ดังสมการที่ 3.9

$$\delta_{ab} = \frac{\frac{\mathbf{a} \cdot \mathbf{b}}{\|\mathbf{a}\| \|\mathbf{b}\|} - \cos(\alpha)}{1 - \cos(\alpha)} \quad (3.9)$$

โดยที่ δ_{ab} คือ คะแนนความเหมือนของท่อนกระดูกครูฝึกกับผู้เรียน

\mathbf{a} คือ เวกเตอร์ท่อนกระดูกของครูฝึก

\mathbf{b} คือ เวกเตอร์ท่อนกระดูกของผู้เรียน

$\|\mathbf{a}\|$ คือ ขนาดของเวกเตอร์ท่อนกระดูกของครูฝึก

$\|\mathbf{b}\|$ คือ ขนาดของเวกเตอร์ท่อนกระดูกของผู้เรียน

α คือ ขนาดของมุมที่คาดว่าจะแตกต่างกันได้มากที่สุด โดยที่

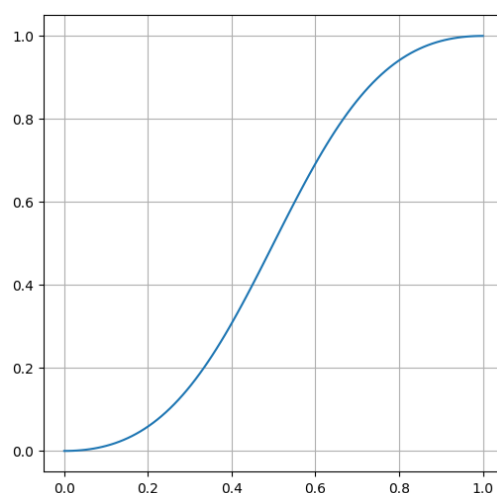
$$\alpha \in (0, 180]$$

3.5.3 การเพิ่มความต่างของคะแนนด้วยฟังก์ชัน

การกำหนดฟังก์ชันที่ใช้เพิ่มความต่างของคะแนนเพื่อเพิ่มคะแนนความเหมือนของส่วนที่มีความเหมือนมาก และลดคะแนนความเหมือนของส่วนที่มีความเหมือนน้อย

เพื่อเพิ่มส่วนต่างของคะแนนระหว่างทำทางที่ทำเหมือนกับไม่เหมือนให้มากขึ้น โดยตัวอย่างฟังก์ชันที่นำมาใช้จะเป็นดังสมการที่ 3.10 และลักษณะของฟังก์ชันจะเป็นดังรูปที่ 3.11

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{1 + \left(\frac{x}{1-x}\right)^{-2}}, & 0 \leq x \leq 1 \\ x, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.10)$$



รูปที่ 3.11 ลักษณะของฟังก์ชันตามสมการที่ 3.10

การเพิ่มความต่างของคะแนนด้วยฟังก์ชันร่วมกับความเหมือนของมุม จะได้ดังสมการที่ 3.11

$$\gamma'_{ab} = f(\gamma_{ab}) \quad (3.11)$$

การเพิ่มความต่างของคะแนนด้วยฟังก์ชันร่วมกับ Cosine similarity จะได้ดังสมการที่ 3.12

$$\delta'_{ab} = f(\delta_{ab}) \quad (3.12)$$

3.6 การเปรียบเทียบความเหมือนทั้งร่างกาย

การเปรียบเทียบความเหมือนทั้งร่างกายคือ การรวมคะแนนความเหมือนจากการเปรียบเทียบคะแนนความเหมือนแต่ละส่วนระหว่างครูฝึกและผู้เรียน โดยสามารถกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักในแต่ละส่วนหากต้องการ ค่าถ่วงน้ำหนักสามารถกำหนดโดยผู้ใช้งานหรือระบบกำหนดให้อัตโนมัติ

3.6.1 การรวมคะแนนความเหมือนแต่ละส่วน

การรวมคะแนนความเหมือนแต่ละส่วนคือ ผลรวมของคะแนนที่ได้จากการคำนวณความเหมือนแต่ละส่วนถ่วงด้วยน้ำหนักตามความสำคัญ สมการที่ 3.13 แสดงการรวมคะแนนความเหมือนแต่ละส่วน

$$\lambda_{ij} = \frac{\mathbf{w}_i \mathbf{s}_{ij}^T}{\sum \mathbf{w}_i} \quad (3.13)$$

โดยที่ λ_{ij} คือ คะแนนความเหมือนทั้งร่างกายระหว่างเฟรมที่ i กับเฟรมที่ j

\mathbf{w}_i คือ เวกเตอร์ค่าถ่วงน้ำหนักของเฟรมที่ i ของครูฝึก

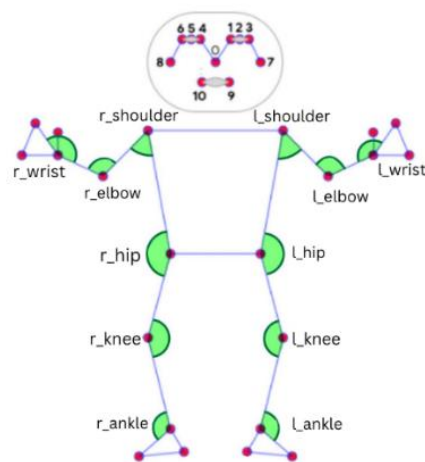
\mathbf{s}_{ij} คือ เวกเตอร์คะแนนความเหมือนแต่ละส่วนระหว่างเฟรมที่ i (ครูฝึก) กับเฟรมที่ j (ผู้เรียน) ที่ได้จากหัวข้อ 3.5

3.6.2 ผู้ใช้งานกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักด้วยตนเอง

ผู้ใช้งานกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักแต่ละส่วนด้วยตนเอง โดยสามารถกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักได้ตามท่อนกระดูกที่แสดงบนรูปที่ 3.12 สำหรับ cosine similarity และกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักได้ตามข้อพับที่แสดงบนรูปที่ 3.13 สำหรับการคำนวณความเหมือนของมุม โดยค่าเริ่มต้นคือ 1 ถ้าหากไม่ได้กำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก



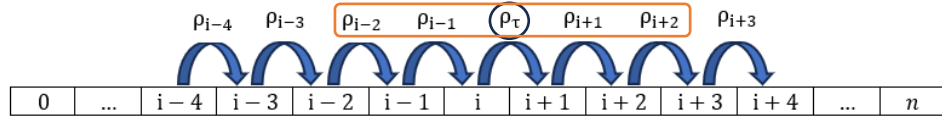
รูปที่ 3.12 ท่อนกระดูกแต่ละส่วนในการคำนวณคะแนน



รูปที่ 3.13 ข้อพับแต่ละส่วนในการคำนวณคะแนน

3.6.3 ระบบกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักโดยอัตโนมัติ

การกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักโดยอัตโนมัติคือ การกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักแต่ละส่วนให้กับทุกเฟรมของวิดีโอครูฝึก โดยคำนวณจากระยะทางที่แต่ละท่อนกระดูก/ข้อพับเคลื่อนที่ภายใต้ช่วงเฟรมที่กำหนด (windows) โดยถ้าหากท่อนกระดูก/ข้อพับมีระยะทางหรือการเปลี่ยนแปลงมากก็ยังมีค่าถ่วงน้ำหนักมาก



รูปที่ 3.14 ตัวอย่างแสดงการคำนวณค่าถ่วงน้ำหนักของเฟรมที่ i

โดยระบบจะทำการคำนวณระยะทางจากฟังก์ชันการให้คะแนนความต่างระหว่างเฟรมที่ i กับ $i + 1$ ตามสมการที่ 3.14

$$\rho_i = \varepsilon(\mathbf{k}_i, \mathbf{k}_{i+1}) \quad (3.14)$$

โดยที่ ρ_i คือ คะแนนความต่างแต่ละส่วนของเฟรมที่ i

\mathbf{k}_i คือ เวกเตอร์รวมส่วนของร่างกายเฟรมที่ i

ε คือ ฟังก์ชันคำนวณคะแนนความต่างแต่ละส่วนในหัวข้อ 3.4 โดยเปลี่ยนจากครูฝึกกับผู้เรียน เป็นเฟรมที่ i กับ $i + 1$

หลังจากที่ได้คะแนนความต่างแต่ละส่วนที่อยู่ภายในช่วง windows แล้ว ระบบจะหาค่าเฉลี่ยและทำการ Normalize ให้ค่าอยู่ในช่วง 1 ถึง 2 ซึ่งจะได้ค่าถ่วงน้ำหนักของเฟรมที่ i จากนั้นทำการหาทุกเฟรมของครูฝึก สามารถคำนวณค่าถ่วงน้ำหนักของเฟรมที่ i ได้ดังสมการที่ 3.15

$$\mathbf{w}_i = \frac{\sum_{j=i-v}^{i+v} \rho_j}{v \times 2 + 1} \quad (3.15)$$

โดยที่ \mathbf{w}_i คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของเฟรมที่ i

i คือ เฟรมที่ i

v คือ ขนาด windows

j คือ ช่วงเฟรมก่อนถึงเฟรมที่ i

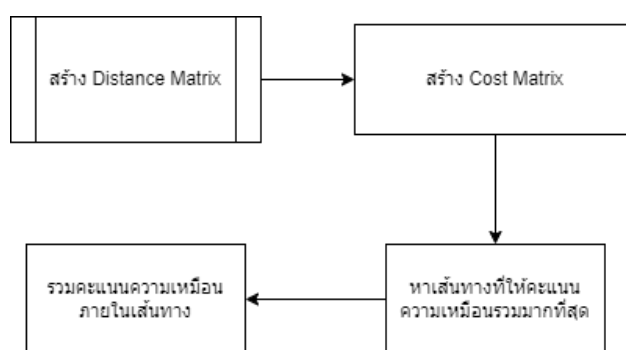
ρ_j คือ คะแนนความต่างแต่ละส่วนของเฟรมที่ j

3.7 การคำนวณคะแนนความเหมือนระหว่างวิดีโอของคนสองคน

การคำนวณคะแนนความเหมือนระหว่างวิดีโอของคนสองคนจะนำการคำนวณคะแนนความเหมือนทั้งร่างกายมาใช้ร่วมกับไดนามิกไทม์วอร์ปปีง ดังนั้นการทำงานไดนามิกไทม์วอร์ปปีงจะมีการคำนวณความเหมือน 2 วิธี คือ ความเหมือนของมุมและ Cosine Similarity

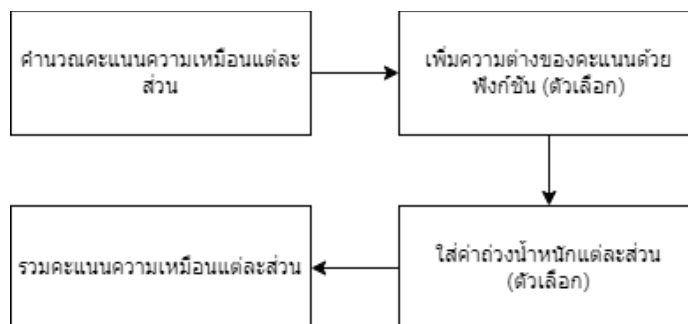
3.7.1 ไดนามิกไทม์วอร์ปปีง

ไดนามิกไทม์วอร์ปปีงจะทำการหาคะแนนความเหมือนทั้งร่างกายของทุกเฟรมครุ ฝีกกับทุกเฟรมผู้เรียนมาสร้างเมทริกซ์ระยะทาง (Distance Matrix) ซึ่งจะถูกนำมาสร้างเมทริกซ์ต้นทุน (Cost Matrix) เพื่อหาเส้นทางครุฝีกกับผู้เรียนที่ทำให้ผลรวมคะแนนความเหมือนมีค่ามากที่สุด รูปที่ 3.15 แสดงภาพรวมการทำงานของไดนามิกไทม์วอร์ปปีง



รูปที่ 3.15 ภาพรวมไดนามิกไทม์วอร์ปปีง

การสร้างเมทริกซ์ระยะทาง (Distance Matrix) คือ การคำนวณคะแนนความเหมือนทั้งร่างกายของทุกเฟรมระหว่างครุฝีกกับผู้เรียน รูปที่ 3.16 แสดงภาพรวมในการคำนวณคะแนนความเหมือนทั้งร่างกายหนึ่งคู่เฟรมระหว่างครุฝีกกับผู้เรียน โดยมีฟังก์ชันเพิ่มความต่างของคะแนน และค่าถ่วงน้ำหนักเป็นตัวเลือก



รูปที่ 3.16 ภาพรวมการคำนวณความเหมือนทั้งร่างกายหนึ่งคู่เฟรม

กำหนดให้ D เป็นเมทริกซ์ระยะทางมีขนาด $m \times n$ ดัง

ตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างเมทริกซ์ระยะทางของไดนามิกไทมวอร์ปปีง

	x_0	x_1	x_2	x_3
y_0	0.30988	0.36656	0.20919	0.20960
y_1	0.20634	0.24807	0.30059	0.35681
y_2	0.38870	0.25578	0.33571	0.34635

โดยที่ d_{ij} คือ สมาชิกในแถว y_i และหลักที่ x_j ของ D โดยมีค่ามาจาก λ_{ij} โดยที่ λ_{ij} คือ ฟังก์ชันการคำนวณคะแนนความเหมือนทั้งร่างกาย

y_i คือ เฟรมที่ i ของวิดีโอครูฝึก

x_j คือ เฟรมที่ j ของวิดีโอผู้เรียน

เมื่อหาเมทริกซ์ระยะทางจนกระทั่ง $i = m$ และ $j = n$ ให้ทำการหาเมทริกซ์ต้นทุน (Cost Matrix) ซึ่งก็คือการรวมคะแนนความเหมือนของเฟรมก่อนหน้าจากเมทริกซ์ระยะทาง กำหนดให้ C แทนเมทริกซ์ต้นทุนขนาด $m \times n$

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างเมทริกซ์ต้นทุนของไดนามิกโปรแกรม

	x_0	x_1	x_2	x_3
y_0	0.30988	0.67644	0.88563	1.09523
y_1	0.51622	0.92451	1.2251	1.58191
y_2	0.90492	1.18029	1.56081	1.92826

โดยที่ค่าของ c_{ij} มาจากสมการที่ 3.16

$$c_{ij} = d_{ij} + \max \begin{bmatrix} d_{i-1,j-1}, \\ d_{i-1,j}, \\ d_{i,j-1} \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

เมื่อมีเมทริกซ์ต้นทุนขั้นตอนต่อไปคือการหาเส้นทางที่มีผลรวมคะแนนความเหมือนมากที่สุดจากเมทริกซ์ต้นทุนโดยเริ่มหาจาก c_{mn} จนถึง c_{00} โดยวิธีการหาเส้นทางเป็นไปตามสมการที่ 3.17

$$\text{path}_{ij} = \max \begin{bmatrix} c_{i-1,j-1}, \\ c_{i-1,j}, \\ c_{i,j-1} \end{bmatrix} \quad (3.17)$$

โดยที่ i เริ่มที่ m

j เริ่มที่ n

จะได้เส้นทางที่ให้ผลรวมคะแนนความเหมือนมากที่สุดดัง

ตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างการหาเส้นทางที่ให้ค่าผลรวมความเหมือนมากที่สุด

	x_0	x_1	x_2	x_3
y_0	0.30988	0.67644	0.88563	1.09523
y_1	0.51622	0.92451	1.2251	1.58191
y_2	0.90492	1.18029	1.56081	1.92826

จาก

ตารางที่ 3.3 เส้นทางที่ให้ค่าคะแนนความเหมือนมากที่สุดคือ $\{(x_0, y_0), (x_1, y_0), (x_1, y_1), (x_2, y_1), (x_3, y_1), (x_3, y_2)\}$ และผลรวมคะแนนความเหมือนที่ได้คือ 0.321377 โดยได้จากการนำค่าในตำแหน่ง c_{mn} ซึ่งก็คือ 1.92826 หรือหาได้จากการนำค่าคะแนนความเหมือนทั้งร่างภายในเมตริกซ์ระยะทาง $(0.30988 + 0.36656 + 0.24807 + 0.30059 + 0.35681 + 0.34635)$ หารด้วยจำนวนคู่เฟรมซึ่งก็คือ 6

3.7.2 ไดนามิกไทม์วอร์ปिंगร่วมกับเฟรมที่สำคัญ

ในการหาเส้นทางของไดนามิกไทม์วอร์ปिंगจะเป็นการหาเส้นทางที่มีคะแนนความเหมือนมากที่สุดจากเมตริกซ์ต้นทุน ดังนั้นหากมีเฟรมที่ทำท่าทางแตกต่างกันแต่ได้รับผลกระทบจากการรวมคะแนนจากเฟรมก่อนหน้าทำให้คะแนนความเหมือนมีมากกว่าที่ควร อาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการจับคู่เฟรมได้ การทำไดนามิกไทม์วอร์ปिंगร่วมกับเฟรมที่สำคัญจะเสมือนบังคับให้คู่เฟรมที่สำคัญอยู่ภายในเส้นทาง โดยผู้ใช้งานจะกำหนดเฟรมที่สำคัญของครูฝึก และระบบจะทำการจับคู่เฟรมของผู้เรียนที่ตรงกับเฟรมที่สำคัญของครูฝึกจากเมตริกซ์ระยะทาง หลังจากนั้นจึงหาเส้นทางและเฉลี่ยคะแนนความเหมือนจากเมตริกซ์ย่อยเหล่านั้น

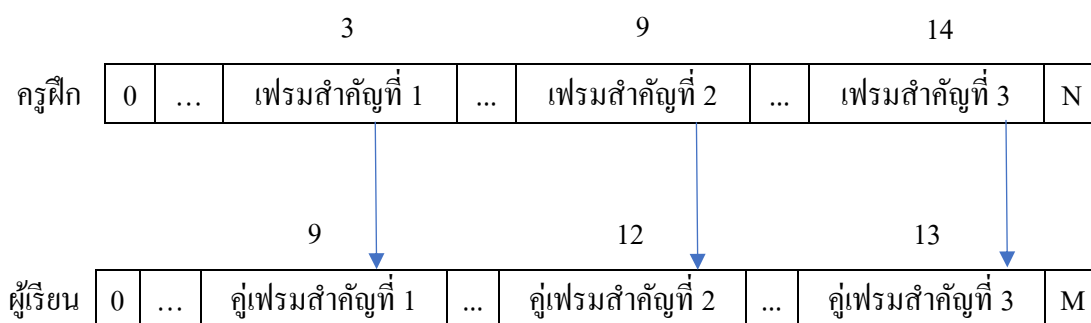
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	0.715	0.559	0.778	0.574	0.592	0.628	0.622	0.666	0.698	0.592	0.635	0.677	0.530	0.574
1	0.753	0.590	0.503	0.699	0.787	0.571	0.776	0.525	0.539	0.659	0.705	0.649	0.712	0.779
2	0.619	0.601	0.735	0.794	0.538	0.619	0.768	0.517	0.749	0.691	0.575	0.539	0.721	0.787
3	0.682	0.582	0.656	0.654	0.836	0.671	0.670	0.800	0.620	0.890	0.713	0.678	0.535	0.546
4	0.543	0.765	0.795	0.575	0.721	0.771	0.530	0.608	0.501	0.647	0.580	0.697	0.774	0.582
5	0.682	0.581	0.687	0.591	0.722	0.594	0.748	0.787	0.673	0.690	0.514	0.518	0.598	0.693
6	0.717	0.784	0.710	0.602	0.647	0.575	0.581	0.543	0.791	0.632	0.533	0.744	0.551	0.650
7	0.576	0.536	0.746	0.764	0.764	0.615	0.531	0.520	0.627	0.695	0.660	0.586	0.732	0.735
8	0.569	0.625	0.610	0.549	0.752	0.525	0.514	0.631	0.633	0.724	0.790	0.647	0.713	0.532
9	0.613	0.785	0.723	0.647	0.751	0.522	0.746	0.644	0.851	0.686	0.578	0.663	0.737	0.568
10	0.759	0.651	0.741	0.652	0.540	0.726	0.763	0.620	0.678	0.646	0.644	0.787	0.522	0.726
11	0.721	0.798	0.542	0.643	0.659	0.752	0.758	0.530	0.777	0.677	0.776	0.704	0.648	0.707
12	0.561	0.551	0.618	0.787	0.532	0.798	0.659	0.515	0.631	0.716	0.709	0.648	0.674	0.649
13	0.523	0.778	0.782	0.617	0.738	0.661	0.737	0.791	0.550	0.548	0.748	0.610	0.704	0.743
14	0.627	0.633	0.565	0.644	0.542	0.627	0.618	0.793	0.708	0.580	0.615	0.616	0.826	0.784
15	0.744	0.583	0.507	0.631	0.728	0.633	0.681	0.607	0.594	0.620	0.607	0.673	0.776	0.574

รูปที่ 3.17 การหาเฟรมที่สำคัญของผู้เรียนจากเมตริกซ์ระยะทาง

รูปที่ 3.17 ตัวอย่างเมตริกซ์ระยะทางที่ใช้หลักการไดนามิกไทม์วอร์ปिंगร่วมกับเฟรมที่สำคัญ โดยแถวที่ 0 ถึง 15 คือ ลำดับเฟรมของครูฝึก หลักที่ 0 ถึง 13 คือ ลำดับเฟรมของผู้เรียน ค่าที่อยู่ภายในแต่ละช่องคือ ค่าคะแนนความเหมือนระหว่างครูฝึกกับผู้เรียนใน

เฟรมนั้น ๆ ไฮไลต์สีเหลืองคือ เฟรมที่สำคัญของครูฝึก ไฮไลต์สีเขียวคือ เฟรมที่สำคัญของผู้เรียนที่ระบบทำการจับคู่กับเฟรมที่สำคัญของครูฝึก รูปที่ 3.18 รูปที่ 3.19 และรูปที่ 3.20 แสดงตัวอย่างการจับคู่เฟรมผู้เรียนกับเฟรมที่สำคัญ

รอบที่ 1



รูปที่ 3.18 การจับคู่เฟรมสำคัญของผู้เรียน (รอบที่ 1)

รูปที่ 3.18 จำลองการจับคู่เฟรมของครูฝึกและผู้เรียนจากเมตริกซ์ระยะทางรูปที่ 3.17 โดยลำดับของเฟรมแสดงอยู่ด้านบนของตาราง โดยการจับคู่จะทำการจับคู่ตามจำนวนรอบที่กำหนดในตัวอย่างนี้กำหนด 2 รอบ คะแนนที่ยอมรับผิดพลาดเท่ากับ 0.1 ในรอบแรกจะเป็นการเลือกเฟรมของผู้เรียนที่มีคะแนนความเหมือนมากที่สุดมาคู่กับเฟรมที่สำคัญ ซึ่งในการจับคู่เฟรมสำคัญที่ 1 เฟรมของผู้เรียนที่นำมาพิจารณาจะเริ่มตั้งแต่เฟรมที่ 0 จนถึงเฟรมสุดท้าย และการเลือกคู่เฟรมถัดไปจะพิจารณาจากเฟรมของผู้เรียนที่จับคู่กับเฟรมที่สำคัญก่อนหน้านี้จนถึงเฟรมสุดท้าย อย่างกรณีนี้การจับคู่เฟรมสำคัญที่ 1 จะนำเฟรมของผู้เรียนเฟรมที่ 0 ถึงเฟรมที่ M มาทำการหาเฟรมที่มีคะแนนความเหมือนมากที่สุด จากนั้นทำการจับคู่เฟรมผู้เรียนที่มีคะแนนความเหมือนกับเฟรมสำคัญที่ 2 โดยจะพิจารณาตั้งแต่เฟรมที่ถัดจากคู่เฟรมสำคัญที่ 1 ถึงเฟรมสุดท้ายซึ่งก็คือเฟรมที่ 10 ถึงเฟรมที่ M ของผู้เรียน และจับคู่เฟรมผู้เรียนที่มีคะแนนความเหมือนกับเฟรมสำคัญที่ 3 โดยดูจากเฟรมที่ 13 ถึงเฟรมที่ M โดยผลลัพธ์ในการจับคู่ในรอบนี้จะได้ เฟรมสำคัญที่ 1 จับคู่กับเฟรมที่ 9 เฟรมสำคัญที่ 2 จับคู่กับเฟรมที่ 12 และเฟรมสำคัญที่ 3 จับคู่กับเฟรมที่ 13 ซึ่งคะแนนความเฉลี่ยจะเท่ากับ $(0.890 + 0.737 + 0.784)/3 = 0.8036$

รอบที่ 2



รูปที่ 3.19 การจับคู่เฟรมสำคัญของผู้เรียน (รอบที่ 2)

จากการจับคู่เฟรมของผู้เรียนที่มีคะแนนความเหมือนมากที่สุดในรอบที่ 1 จะเห็นได้ว่าถ้าหากการจับคู่เฟรมสำคัญลำดับก่อนหน้าผิดพลาดจะส่งผลให้การจับคู่เฟรมสำคัญถัดไปผิดพลาดด้วย ดังนั้นเพื่อลดความผิดพลาดจึงทำหลาย ๆ รอบเพื่อเลือกชุดคู่เฟรมที่ดีที่สุด โดยในการจับคู่เฟรมรอบนี้จะเลือกเฟรมของผู้เรียนที่มีคะแนนความเหมือนสูงที่สุดลบกับคะแนนที่ยอมให้ผิดพลาด จากตัวอย่างนี้ให้คะแนนที่ยอมผิดพลาด 10 % หรือ 0.1 ดังนั้นระบบจะทำการหาเฟรมผู้เรียนที่มีคะแนนอย่างน้อย $0.890 - 0.1 = 0.790$ เพื่อจับคู่กับเฟรมสำคัญที่ 1 รูปที่ 3.20 แสดงเฟรมของผู้เรียนที่ได้คะแนนความเหมือนเมื่อเทียบกับเฟรมสำคัญที่ 1 มากกว่า 0.790

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	0.715	0.559	0.778	0.574	0.592	0.628	0.622	0.666	0.698	0.592	0.635	0.677	0.530	0.574
1	0.753	0.590	0.503	0.699	0.787	0.571	0.776	0.525	0.539	0.659	0.705	0.649	0.712	0.779
2	0.619	0.601	0.735	0.794	0.538	0.619	0.768	0.517	0.749	0.691	0.525	0.539	0.721	0.787
3	0.682	0.582	0.656	0.654	0.836	0.671	0.670	0.850	0.620	0.890	0.713	0.678	0.535	0.546
4	0.543	0.765	0.795	0.575	0.721	0.771	0.530	0.608	0.501	0.647	0.580	0.697	0.774	0.582
5	0.682	0.581	0.687	0.591	0.722	0.594	0.748	0.787	0.673	0.690	0.514	0.518	0.598	0.693
6	0.717	0.784	0.710	0.602	0.647	0.575	0.581	0.543	0.791	0.632	0.533	0.744	0.551	0.650
7	0.576	0.536	0.746	0.764	0.764	0.615	0.531	0.520	0.627	0.695	0.660	0.586	0.732	0.735
8	0.569	0.625	0.610	0.549	0.752	0.525	0.514	0.631	0.633	0.724	0.790	0.647	0.713	0.532
9	0.613	0.785	0.723	0.647	0.751	0.522	0.746	0.644	0.851	0.686	0.578	0.663	0.737	0.568
10	0.759	0.651	0.741	0.652	0.540	0.726	0.763	0.620	0.678	0.646	0.644	0.787	0.522	0.726
11	0.721	0.798	0.542	0.643	0.659	0.752	0.758	0.530	0.777	0.677	0.776	0.704	0.648	0.707
12	0.561	0.551	0.618	0.787	0.532	0.798	0.659	0.515	0.631	0.716	0.709	0.648	0.674	0.649
13	0.523	0.778	0.782	0.617	0.738	0.661	0.737	0.791	0.550	0.548	0.748	0.610	0.704	0.743
14	0.627	0.633	0.565	0.644	0.542	0.627	0.618	0.793	0.700	0.580	0.615	0.616	0.826	0.784
15	0.744	0.583	0.507	0.631	0.728	0.633	0.681	0.607	0.594	0.620	0.607	0.673	0.776	0.574

รูปที่ 3.20 เฟรมของผู้เรียนที่ได้คะแนนความเหมือนเมื่อเทียบกับเฟรมสำคัญที่ 1 มากกว่า

0.790

จากรูปที่ 3.20 จะเห็นว่ามีเฟรมผู้เรียนที่มีคะแนนความเหมือนเมื่อเทียบกับเฟรมสำคัญที่ 1 มากกว่า 0.790 อยู่ทั้งหมด 3 เฟรมตามที่ได้ไฮไลต์ ซึ่งระบบจะทำการเลือกเฟรมที่มีคะแนนความเหมือนน้อยที่สุดจาก 3 เฟรมนั้น ดังนั้นเฟรมสำคัญที่ 1 จะจับคู่กับเฟรมที่ 4 ของผู้เรียน การจับคู่เฟรมสำคัญที่ 2 ก็จะทำให้การจับคู่เหมือนกับเฟรมสำคัญที่ 1 แต่เฟรมสำคัญอันดับสุดท้ายจะทำการเลือกเฟรมผู้เรียนที่มีคะแนนความเหมือนมากที่สุด ทำให้จากการจับคู่เฟรมสำคัญรอบที่ 2 จะได้ผลลัพธ์คือ เฟรมสำคัญที่ 1 จับคู่กับเฟรมที่ 4 เฟรมสำคัญที่ 2 จับคู่กับเฟรมที่ 8 และเฟรมสำคัญที่ 3 จับคู่กับเฟรมที่ 12 จะได้คะแนนความเหมือนเฉลี่ยจะเท่ากับ $(0.836 + 0.851 + 0.826)/3 = 0.8377$ ซึ่งมีค่ามากกว่ารอบที่ 1 ทำให้เฟรมของผู้เรียนในรอบที่ 2 เป็นคู่เฟรมของเฟรมที่สำคัญของครูฝึก จะได้เมตริกซ์ย่อยดังรูปที่ 3.21

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	0.715	0.559	0.778	0.574	0.592	0.628	0.622	0.666	0.698	0.592	0.635	0.677	0.530	0.574
1	0.753	0.590	0.503	0.699	0.787	0.571	0.776	0.525	0.539	0.659	0.705	0.649	0.712	0.779
2	0.619	0.601	0.735	0.794	0.538	0.619	0.768	0.517	0.749	0.691	0.575	0.539	0.721	0.787
3	0.682	0.582	0.656	0.654	0.836	0.671	0.670	0.850	0.620	0.890	0.713	0.678	0.535	0.546
4	0.543	0.765	0.795	0.575	0.721	0.771	0.530	0.608	0.501	0.647	0.580	0.697	0.774	0.582
5	0.682	0.581	0.687	0.591	0.722	0.594	0.748	0.787	0.673	0.690	0.514	0.518	0.598	0.693
6	0.717	0.784	0.710	0.602	0.647	0.575	0.581	0.543	0.791	0.632	0.533	0.744	0.551	0.650
7	0.576	0.536	0.746	0.764	0.764	0.615	0.531	0.520	0.627	0.695	0.660	0.586	0.732	0.735
8	0.569	0.625	0.610	0.549	0.752	0.525	0.514	0.631	0.633	0.724	0.790	0.647	0.713	0.532
9	0.613	0.785	0.723	0.647	0.751	0.522	0.746	0.644	0.851	0.686	0.578	0.663	0.737	0.568
10	0.759	0.651	0.741	0.652	0.540	0.726	0.763	0.620	0.678	0.646	0.644	0.787	0.522	0.726
11	0.721	0.798	0.542	0.643	0.659	0.752	0.758	0.530	0.777	0.677	0.776	0.704	0.648	0.707
12	0.561	0.551	0.618	0.787	0.532	0.798	0.659	0.515	0.631	0.716	0.709	0.648	0.674	0.649
13	0.523	0.778	0.782	0.617	0.738	0.661	0.737	0.791	0.550	0.548	0.748	0.610	0.704	0.743
14	0.627	0.633	0.565	0.644	0.542	0.627	0.618	0.793	0.700	0.580	0.615	0.616	0.826	0.784
15	0.744	0.583	0.507	0.631	0.728	0.633	0.681	0.607	0.594	0.620	0.607	0.673	0.776	0.574

รูปที่ 3.21 แบ่งเมตริกซ์ระยะทางย่อยตามเฟรมที่สำคัญ

จากรูปที่ 3.21 ไฮไลต์สีเหลือง สีน้ำเงิน สีส้ม และสีเขียวคือ เมตริกซ์ระยะทางย่อย โดยจะทำการหาเส้นทางภายในเมตริกซ์ย่อยเหล่านั้น แล้วนำค่าคะแนนความเหมือนของแต่ละเมตริกซ์ย่อยมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อเป็นคะแนนความเหมือนทั้งหมด

บทที่ 4

ผลการศึกษา

ในบทนี้จะนำเสนอผลการศึกษาวิธีการต่าง ๆ ที่ได้เสนอไว้ในบทที่ 3 ซึ่งจะเป็นการนำเสนอผลการศึกษาการคำนวณคะแนนความเหมือนทั้งสองวิธีร่วมกับค่าถ่วงน้ำหนัก ค่าถ่วงน้ำหนักอัตโนมัติ ฟังก์ชันเพิ่มความต่าง และเฟรมที่สำคัญ

4.1 สภาพแวดล้อมการทดลอง

การทดลองต่อไปนี้จะจัดทำบนคอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยประมวลผลกลาง (CPU) i7-6700 หน่วยความจำหลัก (RAM) 16 GB และกล้องที่ใช้ในการถ่ายทำมีความละเอียด 1920x1080 และ 1280x720 พิกเซล (Pixel) อัตราเฟรมอยู่ที่ 30 เฟรมต่อวินาที (FPS) การถ่ายทำแต่ละครั้งจะถ่ายทำเฉพาะผู้เรียน โดยให้ผู้เรียนเว้นระยะห่างจากกล้องประมาณ 2 เมตรเพื่อให้เห็นผู้เรียนตั้งแต่หัวจรดเท้า

4.1.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองประกอบไปด้วย ภาษาโปรแกรม (Programming language) และไลบรารี (Library) โดยภาษาโปรแกรมที่ใช้ในการศึกษาคือ ภาษา Python ซึ่งเป็นหนึ่งในภาษาที่ได้รับความนิยมอย่างมาก เนื่องจากมีไวยากรณ์ที่คล้ายกับภาษาอังกฤษทำให้เรียนรู้ง่าย เปิดให้ทุกคนทั่วไปใช้งานได้ฟรี และมีไลบรารีรองรับที่หลากหลาย โดยไลบรารีที่ใช้มีดังต่อไปนี้

- Opencv ย่อมาจาก Open source Computer Vision ซึ่งเป็นไลบรารีสำหรับการเรียนรู้การมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์ โดย Opencv มีชุดคำสั่งสำหรับการอ่านและเขียนรูปภาพและวิดีโอและการแปลงแก้ไขรูปภาพ
- Mediapipe เป็นไลบรารีที่ถูกออกแบบมาเพื่อนำไปใช้กับแอปพลิเคชันที่ต้องการการประมวลผลภาพและวิดีโอ โดยมีชุดคำสั่งสำหรับการตรวจจับวัตถุ ใบหน้า และท่าทางต่าง ๆ

- Numpy เป็นไลบรารีที่มีชุดคำสั่งเกี่ยวกับการดำเนินการทางคณิตศาสตร์ โดยสามารถจัดการกับข้อมูลที่เป็นเวกเตอร์และเมทริกซ์ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ
- Pandas เป็นไลบรารีที่มีชุดคำสั่งสำหรับการดำเนินการเกี่ยวกับข้อมูลที่เป็นรูปแบบตารางได้อย่างมีประสิทธิภาพ

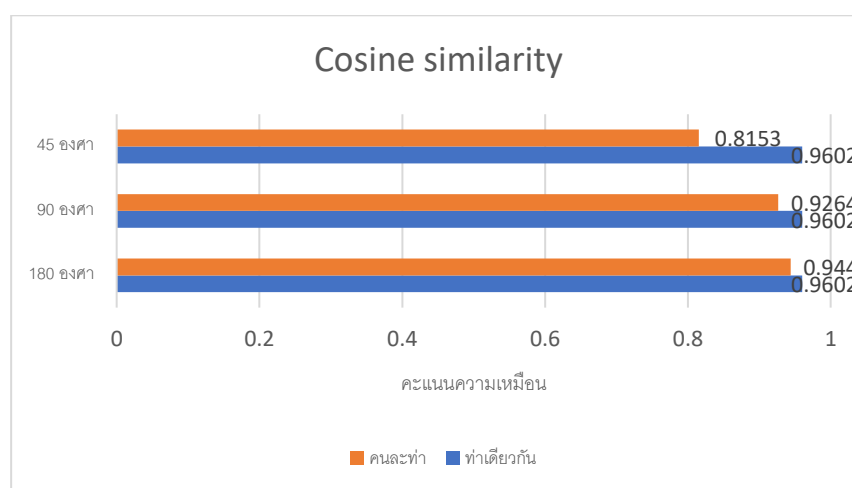
4.1.2 เงื่อนไขในการทดลอง

ในการทดลองจะมีการกำหนดขนาดของมุมที่แตกต่างกันมากที่สุด (α) เท่ากับ 180, 90 และ 45 องศา โดยแต่ละขนาดจะมีช่วงคะแนนดังตารางที่ 4.1

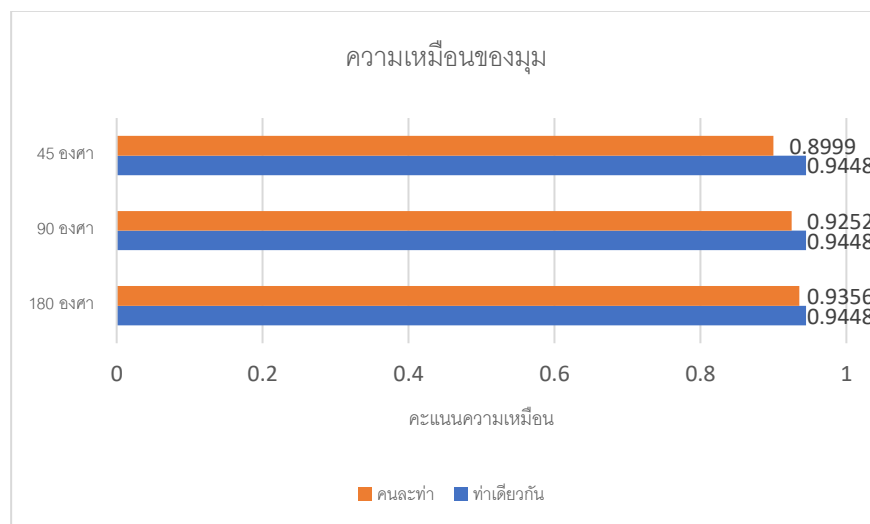
ตารางที่ 4.1 ช่วงคะแนนแต่ละขนาดของมุมที่แตกต่างกันมากที่สุด

	180 องศา	90 องศา	45 องศา
Cosine similarity	[0,1]	$[-1,0) \cup [0,1]$	$[-5.38,0) \cup [0,1]$
มุมข้อพับ	[0,1]	$[-1,0) \cup [0,1]$	$[-3,0) \cup [0,1]$

ทำการเปรียบเทียบผู้เรียนและครูฝึกในท่าทางที่เหมือนและต่างกัน โดยกำหนดขนาดของมุม (α) ตามที่ได้กำหนด



รูปที่ 4.1 คะแนนเฉลี่ยการเปรียบเทียบท่าทางที่เหมือนและไม่เหมือนในแต่ละขนาดมุม (Cosine similarity)



รูปที่ 4.2 คะแนนเฉลี่ยการเปรียบเทียบท่าทางที่เหมือนและไม่เหมือนในแต่ละขนาดมุม (ความเหมือนของมุม)

จากรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.1 คือคะแนนเฉลี่ยที่เปรียบเทียบระหว่างผู้เรียนที่ทำท่าทางเหมือนครูฝึก (สีฟ้า) และผู้เรียนที่ทำท่าทางไม่เหมือนครูฝึก (สีส้ม) โดยทำการปรับค่าคะแนนของผู้เรียนที่ทำท่าทางเหมือนให้เท่ากันเพื่อให้เปรียบเทียบได้ง่าย โดยจะสังเกตว่าหากกำหนดขนาดมุมที่แตกต่างกันมากที่สุดเท่ากับ 180 องศา ค่าคะแนนระหว่างผู้เรียนที่ทำท่าทางเหมือนและไม่เหมือนจะไม่ต่างกันมากเนื่องจากระบบยอมให้ผู้เรียนทำแตกต่างกับครูฝึกได้มากที่สุดคือ 180 องศา แต่ในกรณี 90 และ 45 องศา ค่าคะแนนระหว่างสองกลุ่มจะเริ่มแตกต่างกันมากขึ้น ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้จึงได้กำหนดขนาดมุมที่แตกต่างกันมากที่สุดเท่ากับ (α) 45 องศา

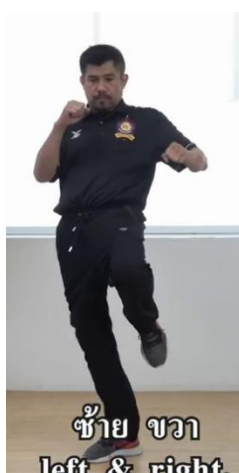
4.1.3 วิดีโอครูฝึกและผู้เรียน

วิดีโอครูฝึกได้นำมาจากชุดการออกกำลังกายด้วยยุทธลีลามวยไทย ของโครงการศิลปวัฒนธรรมไทย ซึ่งเน้นไปที่การใช้อาวุธทั่วไป โดยนำบางส่วนของวิดีโอที่ถ่ายเห็นครูฝึกทำทั้งร่างกายตั้งแต่หัวจรดเท้า ไม่มีการเปลี่ยนมุมมองระหว่างการเคลื่อนไหวมาเป็นวิดีโอครูฝึก ส่วนท่าทางที่นำมาทดลองได้แก่ เข้าตรงหลัง เข่าน้อยหน้า เตะเฉียงหน้า สอกเฉียงดีขึ้นหน้าและหมัดกระแทกหน้า โดยท่าทางทั้งหมดอยู่ในท่าจรดมวยด้วยเหลี่ยมขวา ซึ่งท่าทางที่ลงท้ายด้วย “หลัง” คือ การออกท่าทางด้วยแขนหรือขาที่อยู่ด้านหลัง (ข้างขวา)

ดังตัวอย่างรูปที่ 4.3 และท่าทางที่ลงท้ายด้วย “หน้า” คือ การออกท่าทางด้วยแขนหรือขาที่อยู่ด้านหน้า (ข้างซ้าย) ดังตัวอย่างรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.3 ตัวอย่างผู้เรียนท่าเข้าตรงหลัง



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างครูฝึกท่าเข้าน้อยหน้า

วิดีโอผู้เรียนได้จากการถ่ายทำ ด้วยกล้องโทรศัพท์มือถือ ที่มีความละเอียด 1280 x 720 30 เฟรมต่อวินาที ถ่ายทำแนวนอน ผู้ถ่ายทำอยู่ห่างจากตัวกล้องประมาณ 2 เมตร และเห็นทั่วทั้งร่างกาย โดยจำแนกเป็น 3 กรณี กรณีที่ 1 คือ ผู้เรียนเป็นคนเดียวกับครูฝึก ถ่ายทำครั้งเดียวกัน ท่าทางเหมือนกัน กรณีที่ 2 คือ ผู้เรียนคนละคนกับครูฝึกแต่ทำ

ทำทางเดียวกับครูฝึก และกรณีที่ 3 คือ ผู้เรียนคนละคนกับครูฝึกและทำทำทางแตกต่างกับครูฝึก

ตารางที่ 4.2 จำนวนวิดีโอแต่ละท่าทาง

ชื่อท่า	จำนวนผู้เรียนทั้งหมด	จำนวนวิดีโอทั้งหมด
เข้าตรงหลัง	5	6
เข่าน้อยหน้า	3	4
เตะเฉียงหน้า	5	6
ศอกเฉียงดีขึ้นหน้า	6	8
หมัดกระแทกหน้า	5	6

ตารางที่ 4.3 จำนวนวิดีโอแต่ละผู้เรียน

ชื่อท่า	ผู้เรียน	จำนวนวิดีโอ
เข้าตรงหลัง	ผู้เรียนที่ 1	1
	ผู้เรียนที่ 2	2
	ผู้เรียนที่ 3	1
	ผู้เรียนที่ 4	1
	ผู้เรียนที่ 5	1
เข่าน้อยหน้า	ผู้เรียนที่ 1	1
	ผู้เรียนที่ 2	2
	ผู้เรียนที่ 3	1
เตะเฉียงหน้า	ผู้เรียนที่ 1	2
	ผู้เรียนที่ 2	1
	ผู้เรียนที่ 3	1
	ผู้เรียนที่ 4	1
	ผู้เรียนที่ 5	1

ตารางที่ 4.3 จำนวนวิดีโอแต่ละผู้เรียน

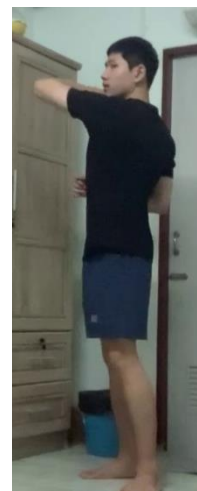
ศอกเฉียงดีขึ้นหน้า	ผู้เรียนที่ 1	1
	ผู้เรียนที่ 2	1
	ผู้เรียนที่ 3	1
	ผู้เรียนที่ 4	3
	ผู้เรียนที่ 5	1
	ผู้เรียนที่ 6	1
หมัดกระแทกหน้า	ผู้เรียนที่ 1	1
	ผู้เรียนที่ 2	1
	ผู้เรียนที่ 3	1
	ผู้เรียนที่ 4	2
	ผู้เรียนที่ 5	1

ตารางที่ 4.4 จำนวนวิดีโอแต่ละกรณี

กรณี	จำนวนคลิป
กรณีที่ 1	7
กรณีที่ 2	30
กรณีที่ 3	120

4.2 การทดสอบประสิทธิภาพของ Mediapipe

การทดสอบประสิทธิภาพของ Mediapipe เป็นการทดสอบเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการตรวจจับข้อต่อโดยควบคุมตัวแปรเรื่องผู้แสดงและท่าทาง ทดสอบโดยการถ่ายด้านหน้าและด้านข้างของผู้แสดงพร้อมกัน โดยการถ่ายด้านข้างจะทำมุมกับการถ่ายด้านหน้าประมาณ 30 องศา ซึ่งวิดีโอที่ได้จะเป็นผู้แสดงเดียวกัน ท่าเดียวกัน แต่มุมกล้องแตกต่างกัน



รูปที่ 4.5 ท่าสอกเฉียงดีขึ้นหน้ามุกกล้องตรง (ซ้าย) มุกกล้องเฉียง (ขวา)

วิดีโอที่ใช้ทำการทดสอบมีจำนวนทั้งหมด 7 วิดีโอซึ่งมีท่าทางดังนี้ สอกเฉียงดีขึ้นหน้า สอกเฉียงหลัง หมัดกระแทกหน้า เข้าตรงหลัง เข้าพร้อมสอกหลัง เตะเฉียงหน้า และเตะเฉียงหลัง ทำการทดลองด้วยไดนามิกไทเมอร์ปิง กำหนดค่าถ่วงน้ำหนักของทุกส่วนเท่ากับ 1 และขนาดของมุมที่คาดว่าจะแตกต่างกันที่สุด (α) คือ 45

ตารางที่ 4.5 คะแนนความเหมือน Cosine similarity จากผู้แสดงเดียวกัน ทำเดียวกัน แต่มุกกล้องแตกต่างกัน

ชื่อท่า	คะแนนความเหมือน
สอกเฉียงดีขึ้นหน้า	84.68 %
สอกเฉียงหลัง	74.78 %
หมัดกระแทกหน้า	83.05 %
เข้าตรงหลัง	84.25 %
เข้าพร้อมสอกหลัง	85.60 %
เตะเฉียงหน้า	86.92 %
เตะเฉียงหลัง	88.56 %

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนความเหมือนจากตารางที่ 4.5 คือ 83.98 % และ 4.44 % แสดงให้เห็นว่า แม้ว่าจะทำท่าทางเหมือนกันมากเพียงใดก็ตาม ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นได้จากการตรวจจับข้อต่อจะอยู่ที่ประมาณ 16 %

ตารางที่ 4.6 คะแนนความเหมือนความเหมือนของมุม จากผู้แสดงเดียวกัน ทำเดียวกัน แต่มุมกล้องแตกต่างกัน

ชื่อท่า	คะแนนความเหมือน
ศอกเฉียงดีขึ้นหน้า	84.94 %
ศอกเฉียงหลัง	77.34 %
หมัดกระแทกหน้า	88.48 %
เข้าตรงหลัง	85.95 %
เข้าพร้อมศอกหลัง	84.43 %
เตะเฉียงหน้า	86.12 %
เตะเฉียงหลัง	85.52 %

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนความเหมือนจากตารางที่ 4.6 คือ 84.68 % และ 3.48 % แสดงให้เห็นว่า แม้ว่าจะทำท่าทางเหมือนกันมากเพียงใดก็ตาม ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นได้จากการตรวจจับข้อต่อจะอยู่ที่ประมาณ 15 %

4.3 การเปรียบเทียบท่าทางครูฝึกกับผู้เรียน

เปรียบเทียบท่าทางระหว่างครูฝึกในกับผู้เรียนด้วย Cosine Similarity และความเหมือนของมุมพร้อมกับกำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก เพิ่มความต่างด้วยฟังก์ชัน และเฟรมที่สำคัญ โดยกำหนดขนาดของมุมที่คาดว่าจะแตกต่างมากที่สุด (α) อยู่ที่ 45 องศา (เนื่องจากทำให้เห็นความต่างของคะแนนระหว่างผู้เรียนที่ทำท่าทางเหมือนกับไม่เหมือนครูฝึกมากที่สุด) ซึ่งช่วงคะแนนความเหมือนของ Cosine Similarity จะอยู่ที่ 0 ถึง 1 สำหรับขนาดมุมที่ต่างกันไม่เกิน 45 องศา และ 0 ถึง -5.38 สำหรับขนาดมุมที่ต่างกัน 45 องศาถึง 180 องศา ส่วนช่วงคะแนนความเหมือนของมุมจะอยู่ที่ 0 ถึง 1 สำหรับขนาดมุมที่ต่างกันไม่เกิน 45 องศา และ 0 ถึง -3 สำหรับขนาดมุมที่ต่างกัน 45 องศาถึง 180 องศา เพื่อให้เห็นความแตกต่างของคะแนนมากยิ่งขึ้น โดยจะจำแนกการเปรียบเทียบเป็น 3 กรณี (case) ดังนี้ กรณีที่ 1 คือ ผู้เรียนเป็นคนเดียวกับครูฝึก ถ่ายทำครั้งเดียวกัน ท่าทางเหมือนกัน กรณีที่ 2

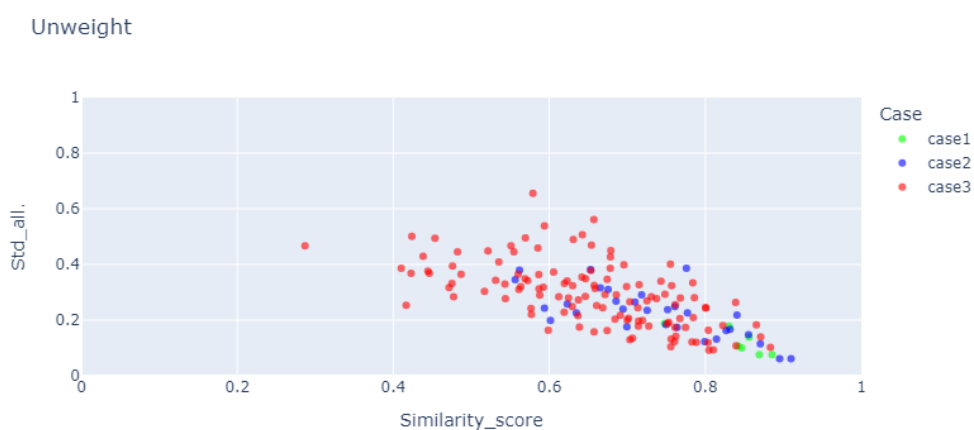
คือ การเปรียบเทียบผู้เรียนที่แสดงท่าทางเดียวกันกับครูฝึก และกรณีที่ 3 คือ การเปรียบเทียบผู้เรียนที่ทำท่าทางแตกต่างกับครูฝึก

ตารางที่ 4.7 วิธีการเปรียบเทียบท่าทางครูฝึกกับผู้เรียน

วิธีการเปรียบเทียบ		คำอธิบาย
ไม่มีการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก	ไม่ใช้ฟังก์ชันเพิ่มความต่าง ไม่กำหนดเฟรมที่สำคัญ	ค่าถ่วงน้ำหนักเท่ากันทุกส่วน
	ใช้ฟังก์ชันเพิ่มความต่าง ไม่กำหนดเฟรมที่สำคัญ	ค่าถ่วงน้ำหนักเท่ากันทุกส่วน และใช้ฟังก์ชัน Exponential เพื่อเพิ่มความต่างของคะแนน
	ใช้ฟังก์ชันเพิ่มความต่าง กำหนดเฟรมที่สำคัญ	ค่าถ่วงน้ำหนักเท่ากันทุกส่วน ใช้ฟังก์ชัน Exponential เพื่อเพิ่มความต่างของคะแนน และกำหนดเฟรมที่สำคัญของครูฝึก
กำหนดค่าถ่วงน้ำหนักแต่ละส่วน	ไม่ใช้ฟังก์ชันเพิ่มความต่าง ไม่กำหนดเฟรมที่สำคัญ	กำหนดค่าถ่วงน้ำหนักส่วนที่สำคัญมากกว่าส่วนอื่น
	ใช้ฟังก์ชันเพิ่มความต่าง ไม่กำหนดเฟรมที่สำคัญ	กำหนดค่าถ่วงน้ำหนักส่วนที่สำคัญมากกว่าส่วนอื่น และใช้ฟังก์ชัน Exponential เพื่อเพิ่มความต่างของคะแนน
	ใช้ฟังก์ชันเพิ่มความต่าง กำหนดเฟรมที่สำคัญ	กำหนดค่าถ่วงน้ำหนักส่วนที่สำคัญมากกว่าส่วนอื่น ใช้ฟังก์ชัน Exponential เพื่อเพิ่มความต่างของคะแนน และกำหนดเฟรมที่สำคัญของครูฝึก
กำหนดค่าถ่วงน้ำหนักอัตโนมัติ	ไม่ใช้ฟังก์ชันเพิ่มความต่าง ไม่กำหนดเฟรมที่สำคัญ	ระบบคำนวณค่าถ่วงน้ำหนักอัตโนมัติจากช่วง window ที่กำหนด
	ใช้ฟังก์ชันเพิ่มความต่าง ไม่กำหนดเฟรมที่สำคัญ	ระบบคำนวณค่าถ่วงน้ำหนักอัตโนมัติจากช่วง window ที่กำหนด และใช้ฟังก์ชัน Exponential เพื่อเพิ่มความต่างของคะแนน
	ใช้ฟังก์ชันเพิ่มความต่าง กำหนดเฟรมที่สำคัญ	ระบบคำนวณค่าถ่วงน้ำหนักอัตโนมัติจากช่วง window ที่กำหนด ใช้ฟังก์ชัน Exponential เพื่อเพิ่มความต่างของคะแนน และกำหนดเฟรมที่สำคัญของครูฝึก

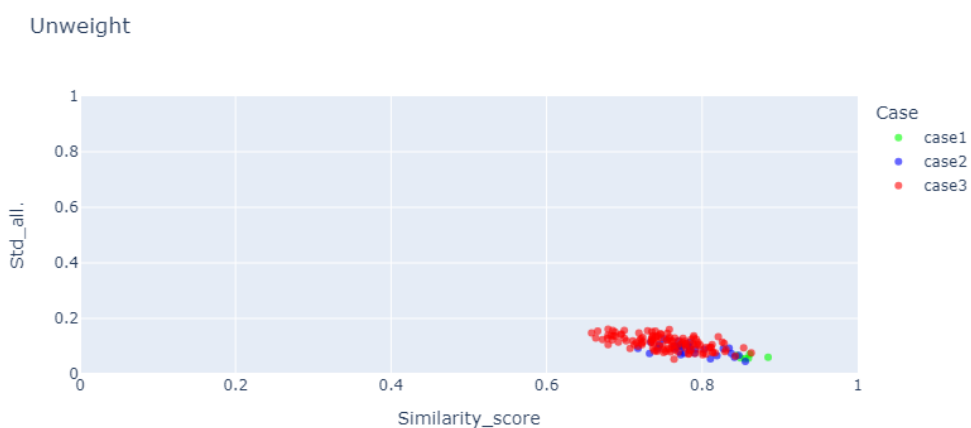
4.3.1 ไม่มีการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก

เป็นการเปรียบเทียบท่าทางโดยดูภาพรวมทั้งร่างกาย โดยมีการเพิ่มความต่างของคะแนน และกำหนดเฟรมที่สำคัญ เพื่อช่วยในการคำนวณคะแนน



รูปที่ 4.6 คะแนนความเหมือนเมื่อทุกส่วนของร่างกายมีความสำคัญเท่ากัน ไม่มีการกำหนดฟังก์ชันเพิ่มความต่างและไม่มีการกำหนดเฟรมที่สำคัญ (Cosine similarity)

จากรูปที่ 4.6 แกน x คือคะแนนความเหมือน แกน y คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนภายในเส้นทางไดนามิกไทมวอร์ปปีง case1 คือ กรณีที่ 1 case2 คือ กรณีที่ 2 และ case3 คือ กรณีที่ 3 โดยกรณีที่ 1 มีคะแนนความเหมือนเฉลี่ยอยู่ที่ 83.98 % กรณีที่ 2 มีคะแนนความเหมือนเฉลี่ยอยู่ที่ 73.40 % และกรณีที่ 3 มีคะแนนความเหมือนเฉลี่ยอยู่ที่ 65.24 % จะเห็นว่าข้อมูลมีการกระจายตัว ถ้าหากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่ามากแสดงว่าคู่เฟรมของผู้เรียนที่จับคู่กับเฟรมครูฝึกด้วยไดนามิกไทมวอร์ปปีงที่อยู่ภายในเส้นทางมีคะแนนความเหมือนต่างกับคะแนนความเหมือนที่เป็นรวมหรือคะแนนผลลัพธ์มาก ซึ่งหมายความว่าตลอดการเปรียบเทียบผู้เรียนมีการทำท่าทางไม่เหมือนครูฝึกอยู่ช่วงหนึ่ง



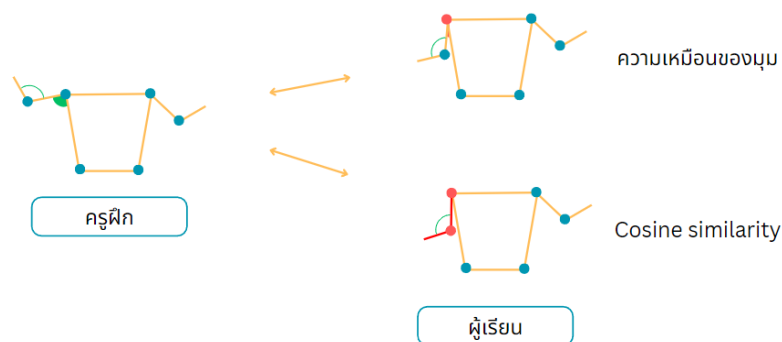
รูปที่ 4.7 คะแนนความเหมือนเมื่อทุกส่วนของร่างกายมีความสำคัญเท่ากัน ไม่มีการกำหนดฟังก์ชันเพิ่มความต่างและไม่มีการกำหนดเฟรมที่สำคัญ (ความเหมือนของมุม)

จากรูปที่ 4.7 กรณีที่ 1 มีคะแนนความเหมือนเฉลี่ยอยู่ที่ 84.68 % กรณีที่ 2 มีคะแนนความเหมือนเฉลี่ยอยู่ที่ 78.49 % และกรณีที่ 3 มีคะแนนความเหมือนเฉลี่ยอยู่ที่ 75.36 % โดยการเปรียบเทียบด้วยความเหมือนของมุมจะเห็นว่าข้อมูลมีการกระจายตัวน้อยกว่าแบบ Cosine similarity เนื่องจากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำกว่า สาเหตุเป็นเพราะการเปรียบเทียบด้วยความเหมือนของมุมจะไม่ได้เปรียบเทียบทิศทางของส่วนนั้น ๆ ทำให้ผู้เรียนได้คะแนนความเหมือนมาก รูปที่ 4.8 แสดงถึงกรณีขนาดมุมเท่ากันแต่ทิศทางแตกต่างกัน



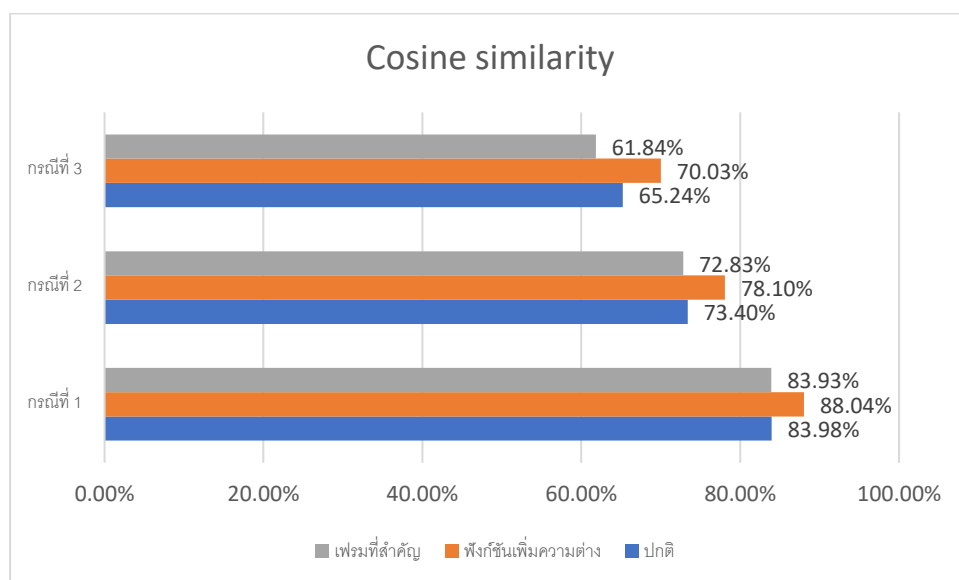
รูปที่ 4.8 แขนงซ้ายผู้เรียน (ซ้าย) แขนงซ้ายครูฝึก (ขวา)

รูปที่ 4.8 คือ กรณีที่ส่วนต่าง ๆ ของผู้เรียนมีขนาดมุมที่เท่ากับครูฝึก แต่ทิศทางของส่วนนั้นของผู้เรียนมีทิศทางแตกต่างกับครูฝึก ในกรณีนี้การคำนวณคะแนนแบบความเหมือนของมุมจะให้คะแนนมาก

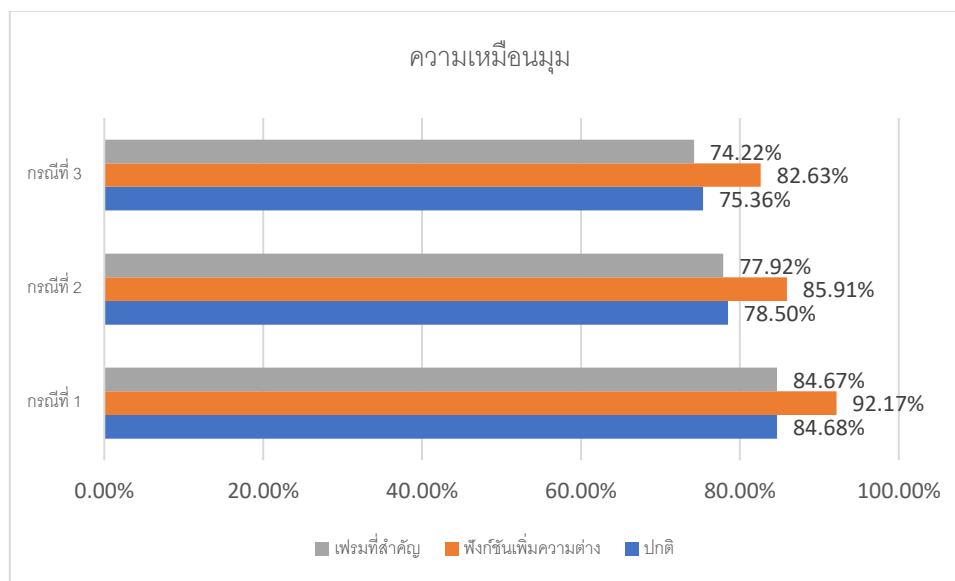


รูปที่ 4.9 แสดงความแตกต่างระหว่าง cosine similarity กับความเหมือนของมุม

รูปที่ 4.9 คือ การยกตัวอย่างกรณีที่ครูฝึกยกแขนขาขึ้นแต่ผู้เรียนไม่ได้ยกแขนขา และแสดงส่วนที่มีความแตกต่างระหว่างครูฝึกและผู้เรียนจากการคำนวณด้วย Cosine similarity และความเหมือนของมุมด้วยเส้นและจุดสีแดง โดย Cosine Similarity จะเปรียบเทียบทิศทางก่อนกระตุกส่วนต้นแขนและปลายแขนของครูฝึกกับผู้เรียนท ทำให้เห็นว่าจะมีความแตกต่างทั้งส่วนต้นแขนและปลายแขน แต่การเปรียบเทียบด้วยความเหมือนของมุมจะเปรียบเทียบด้วยขนาดมุมของหัวไหล่และข้อศอก ซึ่งจะเห็นได้ว่าความเหมือนของมุมจะแตกต่างแค่ขนาดมุมของหัวไหล่ ส่วนข้อศอกจะเห็นว่ายังมีขนาดเท่าครูฝึก



รูปที่ 4.10 คะแนนความเหมือนเฉลี่ยแต่ละวิธีเมื่อไม่มีการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก แบ่งตามกรณี (Cosine similarity)



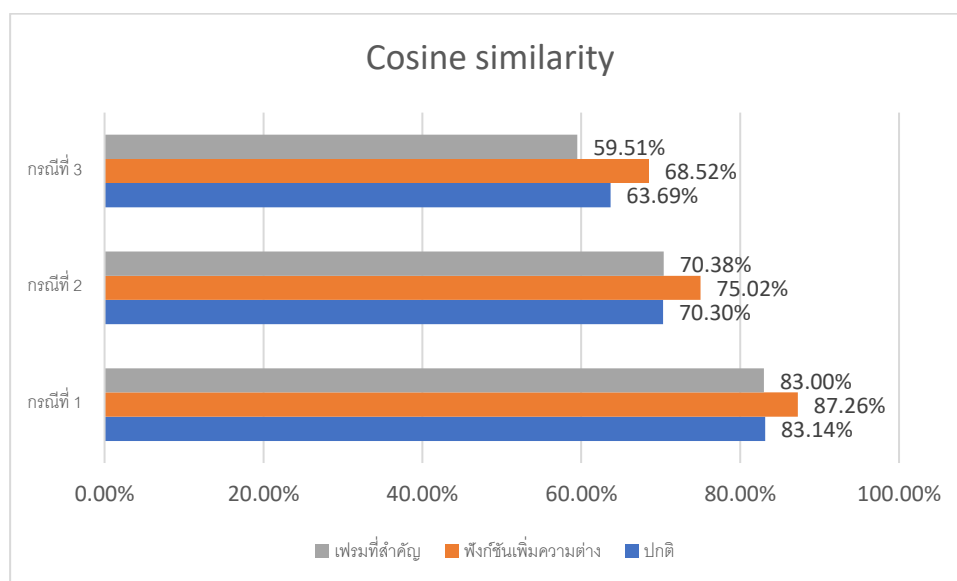
รูปที่ 4.11 คะแนนความเหมือนเฉลี่ยแต่ละวิธีเมื่อไม่มีการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก แบ่งตามกรณี (ความเหมือนมุม)

รูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11 แสดงคะแนนเฉลี่ยแต่ละวิธีเมื่อไม่มีการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก โดยแกน x คือ คะแนนความเหมือน แกน y คือ กรณีที่ 1 2 และ 3 โดยสีเทาถือ การเปรียบเทียบโดยไม่มีการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักแต่มีการกำหนดเฟรมที่สำคัญ สีส้มถือ การเปรียบเทียบโดยไม่มีการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักแต่มีการใช้ฟังก์ชันเพื่อเพิ่มความต่าง และสีน้ำเงินถือ การเปรียบเทียบโดยไม่มีการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก ไม่มีการกำหนดเฟรมที่สำคัญ ไม่มีการใช้ฟังก์ชันเพื่อเพิ่มความต่าง โดยจากกราฟจะสังเกตเห็นว่า คะแนนเฉลี่ยของกรณีที่ 1 2 และ 3 จะมีคะแนนเฉลี่ยไล่ตามลำดับ และการใช้ฟังก์ชันเพื่อเพิ่มความต่าง จะให้คะแนนที่มากกว่าวิธีการอื่น ๆ ซึ่งจะเป็นผลดีกับกรณีที่ 1 และ 2 แต่กรณีที่ 3 การใช้ฟังก์ชันควรลดลงมากกว่าวิธีอื่น

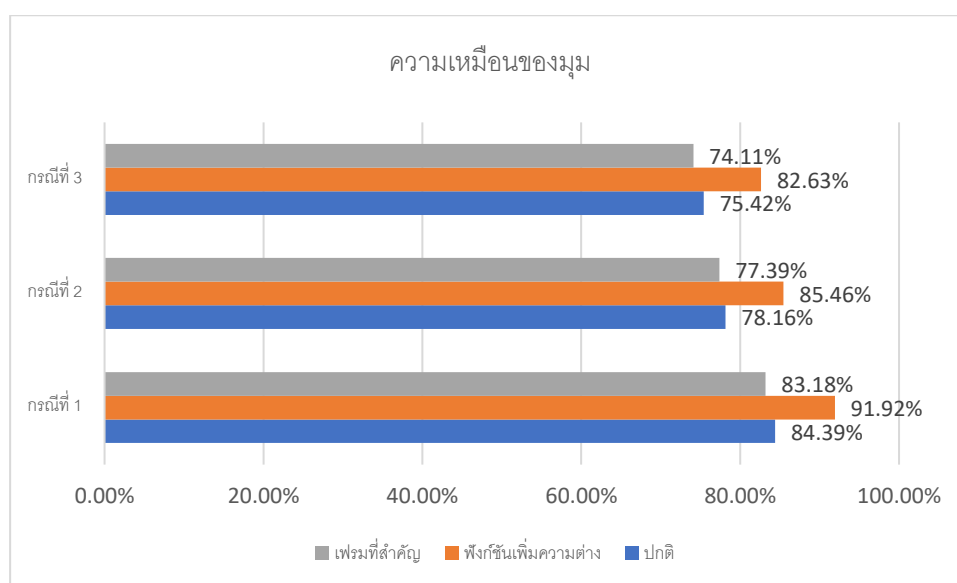
4.3.2 กำหนดค่าถ่วงน้ำหนักแต่ละส่วน

โดยทั่วไปแล้วหากไม่กำหนดค่าถ่วงน้ำหนักจะเปรียบเสมือนการดูภาพรวมทั้งร่างกายไม่ได้ให้ความสำคัญกับส่วนใดเป็นพิเศษ การกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักเฉพาะส่วนจะทำให้ความสำคัญส่วนที่ถูกกำหนดมีมากกว่าส่วนอื่น เช่น ถ้าหากต้องการดูแค่ผู้เรียนมีการเตะเหมือนกับครูฝึกหรือไม่ ก็จะกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักที่ขาข้างที่มีการเตะมากกว่าส่วน

อื่น ๆ ของร่างกาย โดยในการทดลองครั้งนี้ค่าถ่วงน้ำหนักที่กำหนดให้กับส่วนที่ต้องการเพิ่มความสำคัญจะเป็นสองเท่าของค่าถ่วงน้ำหนักปกติ



รูปที่ 4.12 คะแนนความเหมือนเฉลี่ยแต่ละวิธีเมื่อมีการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก แบ่งตามกรณี (Cosine similarity)

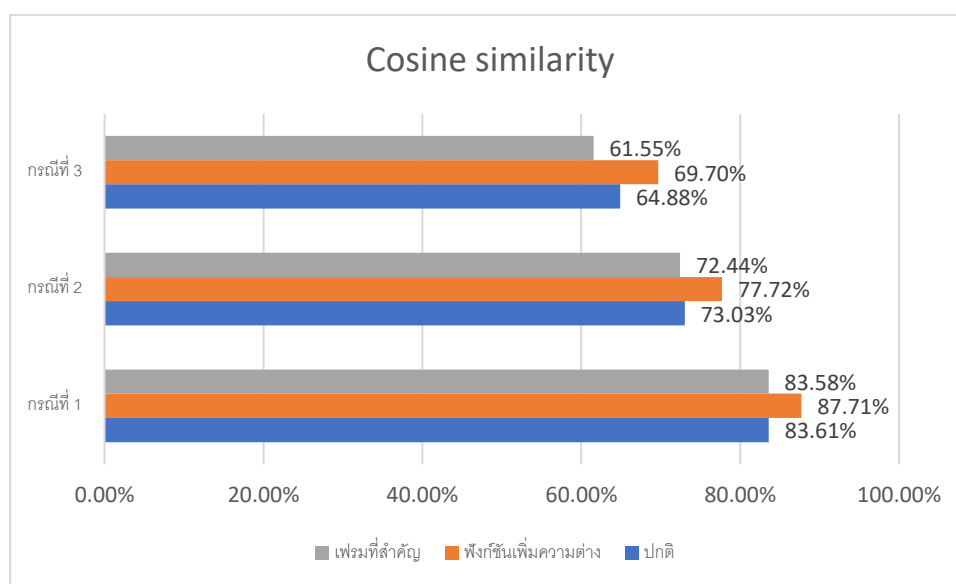


รูปที่ 4.13 คะแนนความเหมือนเฉลี่ยแต่ละวิธีเมื่อมีการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก แบ่งตามกรณี (ความเหมือนมูม)

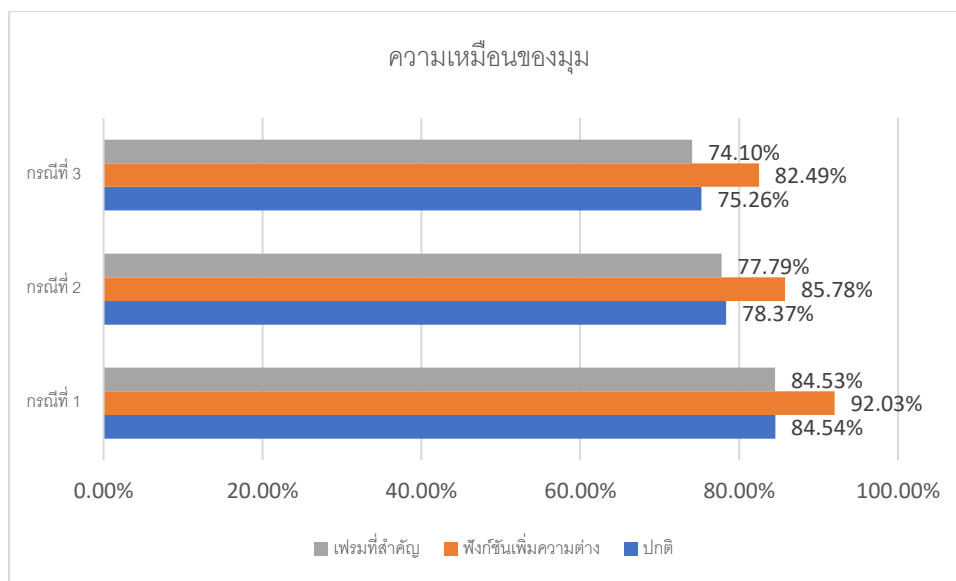
จากรูปที่ 4.12 และรูปที่ 4.13 โดยรวมจะเหมือนกับการให้คะแนนโดยไม่ได้ถ่วงน้ำหนัก แต่ถ้าหากเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ย การไม่กำหนดค่าถ่วงน้ำหนักจะมีคะแนนเฉลี่ยของทุกวิธีมากกว่าในทุกกรณีที่ได้โดยสาเหตุมาจากการที่ถึงแม้ว่าจะนำวิดีโอผู้เรียนที่ทำท่าทางเดียวกับครูฝึกมาเปรียบเทียบในกรณีที่ 2 แล้วแต่การเคลื่อนไหวอาจแตกต่างเล็กน้อย ดังนั้นเมื่อมีการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักในส่วนนั้นทำให้คะแนนลดลงมากกว่าการไม่ถ่วงน้ำหนัก ซึ่งสามารถเพิ่มขนาดมุมที่คาดว่าจะแตกต่างมากที่สุดเพื่อลดการเกิดเหตุการณ์เหตุการณ์เช่นนี้ได้

4.3.3 กำหนดค่าถ่วงน้ำหนักแต่ละส่วนอัตโนมัติ

การกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักอัตโนมัติคือ ระบบจะคำนวณค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละส่วนจากระยะทางที่เคลื่อนที่ภายในช่วงที่กำหนด (windows) ยังมีการเคลื่อนไหวของส่วนนั้นภายใน windows ค่าถ่วงน้ำหนักส่วนนั้นก็จะมากยิ่งขึ้น โดย windows ที่นำมาทดลองคือ 90 เนื่องจากวิดีโอที่ใช้มี 30 เฟรมต่อวินาทีดังนั้น 90 จึงเหมือนการดูการเคลื่อนไหวภายใน 3 วินาทีจากเฟรมนั้น ๆ



รูปที่ 4.14 คะแนนความเหมือนเฉลี่ยแต่ละวิธีเมื่อมีการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักอัตโนมัติ แบ่งตามกรณี (Cosine similarity)



รูปที่ 4.15 คะแนนความเหมือนเฉลี่ยแต่ละวิธีเมื่อมีการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักอัตโนมัติ แบ่งตามกรณี (ความเหมือนมุม)

ภาพรวมจากกราฟที่ได้ค่อนข้างเหมือนกับการให้คะแนนโดยไม่กำหนดค่าถ่วงน้ำหนักเนื่องจากการเฉลี่ยความต่างทำให้ค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้มีค่าไม่ต่างจาก 1 มากนัก

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองด้วยการทำไดนามิกไทม์วอร์ปปีงโดยใช้ cosine similarity และความเหมือนของมุมในการให้คะแนนแต่ละส่วน พบว่า cosine similarity เหมาะกับท่าทางที่ต้องการความละเอียดในการออกท่าทาง เช่น ต้องการดูแยกทั้งทิศทางปลายแขนกับต้นแขนว่าเหมือนครูฝึกหรือไม่ ส่วนความเหมือนของมุมจะเหมาะกับท่าทางที่ต้องการสังเกตบริเวณนั้น เช่น ครูฝึกต้องการให้งอแขน โดยทั้ง 2 วิธีดังกล่าวสามารถได้กำหนดค่าถ่วงน้ำหนักเฉพาะส่วน ฟังก์ชันเพิ่มความต่างคะแนน และเฟรมที่สำคัญได้ ซึ่งแต่ละวิธีการก็มีข้อดีข้อด้อยแตกต่างกันไป

ตารางที่ 5.1 ข้อดีข้อด้อยของแต่ละวิธี

ชื่อวิธีการ	ข้อดี	ข้อด้อย
การกำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก	ให้ความสำคัญกับส่วนที่ต้องการ	ต้องทราบส่วนที่สำคัญของท่าทาง
การกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักโดยอัตโนมัติ	ให้ความสำคัญกับส่วนที่มีการเคลื่อนไหวมาก	หากส่วนที่ไม่สำคัญเคลื่อนไหวมากจะทำให้ให้ความสำคัญกับส่วนนั้นด้วย
การเพิ่มความต่างของคะแนนด้วยฟังก์ชัน	ทำให้เห็นคะแนนความเหมือนชัดเจนขึ้น	เพิ่มหรือลดคะแนนมากเกินไปจนเป็นจริง
การกำหนดเฟรมที่สำคัญ	บังคับให้ภายในเส้นทางที่ได้จากไดนามิกไทม์วอร์ปปีงมีคู่เฟรมที่สำคัญสำหรับท่าทางนั้น ๆ ลดความผิดพลาดของการจับคู่เฟรมที่คล้ายคลึงกันแต่ไม่ใช่คู่เฟรมที่ถูกต้องให้น้อยลง	ต้องทำการเลือกเฟรมที่สำคัญให้มีความเป็นเอกลักษณ์ไม่ซ้ำกับท่าทางอื่น ๆ มิเช่นนั้นจะทำให้ไปเลือกคู่เฟรมของผู้เรียนผิดเพี้ยน เกิดการจับคู่ผิดพลาดถ้าผู้เรียนทำท่าทางแตกต่างจากครูฝึก

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

จากการศึกษาทำให้พบปัญหาและอุปสรรคดังนี้

- ท่าทางมวยไทยชุดเพื่อการออกกำลังกายที่ได้นำมาศึกษาครั้งนี้พบว่าทุกท่าทางจะมีการเคลื่อนไหวตอนเริ่มแรกเหมือนกันหมด (การกวาดแขนขึ้นเหนือศีรษะ) ทำให้คะแนนความเหมือนที่ได้จากการเปรียบเทียบคนละท่าทางมีมากกว่าที่ควรจะเป็น
- เนื่องจากขาดผู้เชี่ยวชาญที่สามารถให้คำปรึกษาเกี่ยวกับท่าทางมวยไทย ทำให้การให้คะแนนความเหมือนในการศึกษาครั้งนี้จะเป็นการเปรียบเทียบจากท่อนกระดูกหรือการทำมุมของข้อพับที่เหมือนกับครูฝึก ซึ่งในความเป็นจริงการทำท่าทางอาจมีจุดที่ต้องให้ความสำคัญ และมีจุดที่สามารถละเลยได้ ในแต่ละท่าทางของครูฝึก
- การตั้งมุมกล้องไว้มุมใดมุมหนึ่งตลอดการถ่ายทำให้เกิดการบดบังส่วนของร่างกายได้
- การเก็บวิดีโอของผู้เรียนให้เหมือนกับครูฝึกที่มี เพื่อนำมาศึกษาเป็นไปได้อย่างยากเนื่องจากการทำท่าทางมวยไทยสำหรับผู้ที่มีความยืดหยุ่นและความแข็งแรงที่น้อย ทำให้ท่าทางออกมาแตกต่างจากครูฝึก
- การเปรียบเทียบวิดีโอกับวิดีโอมีการใช้เวลาค่อนข้างนาน

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาทำให้มีข้อเสนอแนะแก่ผู้ที่สนใจดังนี้

- ฝึกสอน (Train) Mediapipe ด้วยชุดข้อมูลวิดีโอครูฝึก เพื่อให้การตรวจจับข้อมีความแม่นยำมากขึ้น
- เปรียบเทียบครูฝึกกับผู้เรียนด้วยการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine learning) หรือการเรียนรู้เชิงลึก (Deep learning) อาจทำให้การให้คะแนนมีประสิทธิภาพที่ดี

บรรณานุกรม

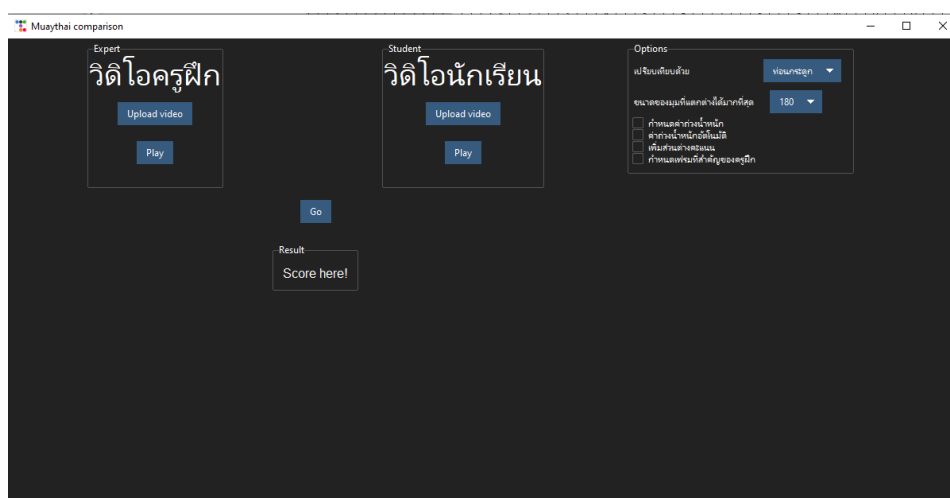
- [1] “ว้าว ไทยแลนด์!!! เผย 10 อันดับชาวต่างชาติที่นิยมเดินทางมาเรียนมวยไทยมากที่สุด,” MGR Online, 16 June 2017. [ออนไลน์]. Available: <https://mgronline.com/travel/detail/9600000061556>. [%1 ที่เข้าถึง 28 March 2023].
- [2] P. Katchwattana, “‘ธุรกิจ มวยไทย 4.0’ ต้นแบบธุรกิจกีฬาเกื้อหนุนธุรกิจท่องเที่ยว ขับเคลื่อนเศรษฐกิจไทยให้ไปไกลกว่าเดิม,” salika, 3 January 2019. [ออนไลน์]. Available: <https://www.salika.co/2019/01/03/thailand-boxing-business-4-0/>. [%1 ที่เข้าถึง 28 March 2023].
- [3] Glimmergirl, “มาต่อยกันไหม!?! 8 ประโยชน์เรีดยจากการชกมวย,” trueplookpanya, 15 January 2018. [ออนไลน์]. Available: <https://www.trueplookpanya.com/blog/content/65038-bwomhea-bwom->. [%1 ที่เข้าถึง 28 March 2023].
- [4] “MediaPipe Pose,” [ออนไลน์]. Available: <https://google.github.io/mediapipe/solutions/pose.html>. [%1 ที่เข้าถึง 24 April 2023].
- [5] I. G. K. R. T. Z. F. Z. M. G. Valentin Bazarevsky, “BlazePose: On-device Real-time Body Pose tracking,” Google Research, 1600 Amphitheatre Pkwy, Mountain View, CA 94043, USA, 2020.
- [6] G. H. T. S. S.-E. W. Y. S. Zhe Cao, “OpenPose: Realtime Multi-Person 2D Pose,” 2019.
- [7] M. I. c. K. Romeo Sajina, “Pose estimation, tracking and comparison”.
- [8] S. Prabhakaran, “Cosine Similarity – Understanding the math and how it works (with python codes),” machinelearningplus, 22 October 2018. [Online]. Available: <https://www.machinelearningplus.com/nlp/cosine-similarity/>. [Accessed 1 April 2023].
- [9] F. Karabiber, “Cosine Similarity,” <https://www.learndatasci.com/>, [ออนไลน์]. Available: <https://www.learndatasci.com/glossary/cosine-similarity/>. [%1 ที่เข้าถึง 15 May 2023].

- [10] M. M. P. M. A. P. Pradnya Krishnanath Borkar, "Match Pose - A System for Comparing Poses," *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol. 8, no. 10, pp. 506-507, 2019.
- [11] R. Tavenard, "An introduction to Dynamic Time Warping," [ออนไลน์]. Available: <https://rtavenar.github.io/blog/dtw.html>. [%1 ที่เข้าถึง 15 May 2023].
- [12] P. Senin, "Dynamic Time Warping Algorithm Review," University of Hawaii at Manoa, USA, 2008.
- [13] เ. ช. เบญจรัตน์ ฉันทะประเสริฐ, "ระบบฝึกท่าทางมวยไทย," คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, Bangkok, 2019.

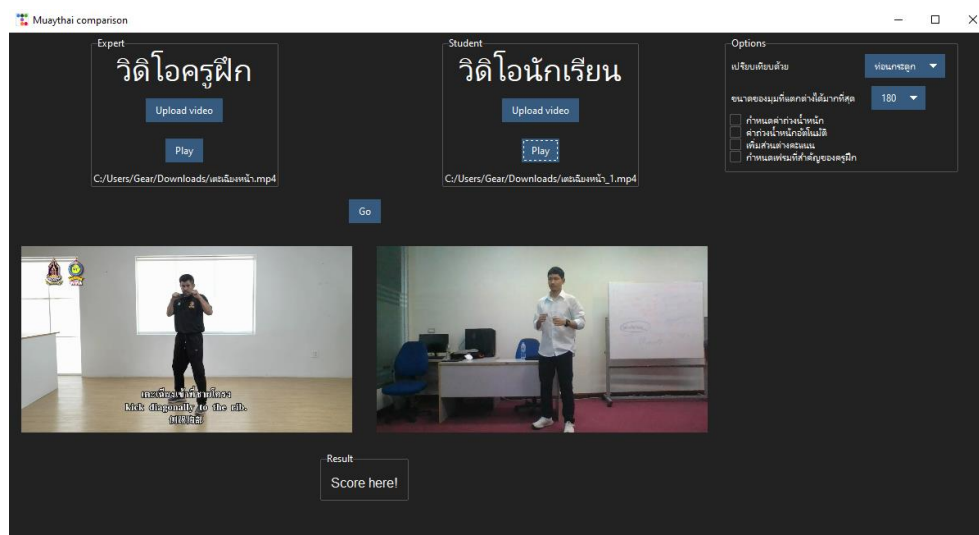
ภาคผนวก

คู่มือการใช้งานระบบ

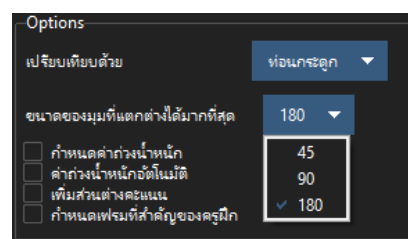
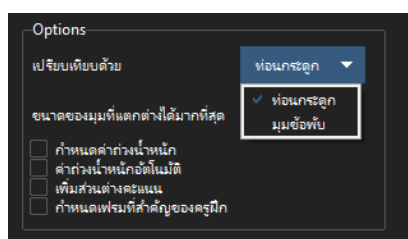
สามารถดาวน์โหลดโปรแกรมได้ที่ : muaythai.comparison.exe เมื่อเข้าใช้งานระบบจะแสดงหน้าต่างดังรูป



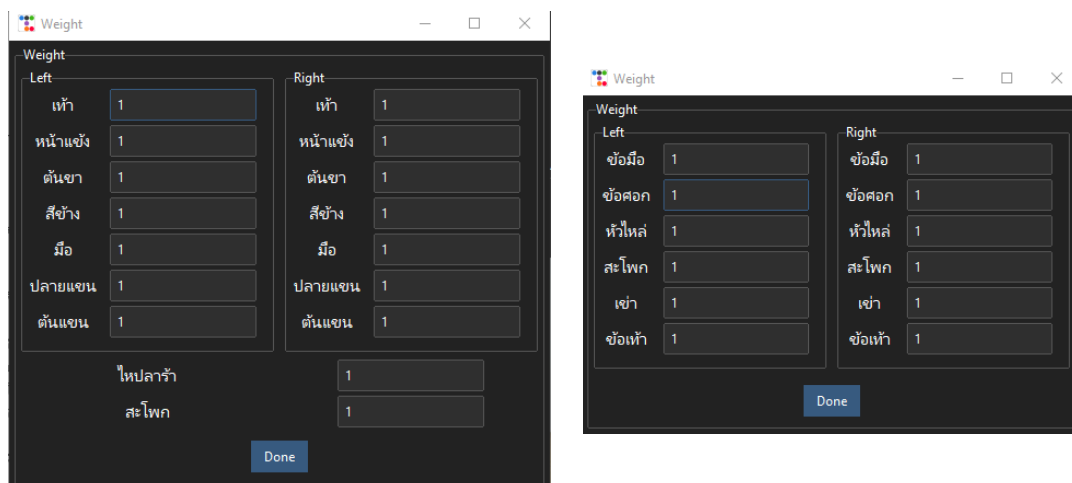
ผู้ใช้งานสามารถอัปโหลดวิดีโอครูฝึกได้ที่ปุ่ม “Upload video” ที่อยู่ภายใต้ “วิชิตโอครุฝึก” และสามารถอัปโหลดวิดีโอผู้เรียนได้ที่ปุ่ม “Upload video” ที่อยู่ภายใต้ “วิชิตโอนักเรียน” โดยสามารถดูวิดีโอที่อัปโหลดได้โดยกดปุ่ม “Play” ที่อยู่ภายใต้ปุ่มอัปโหลด ดังรูป



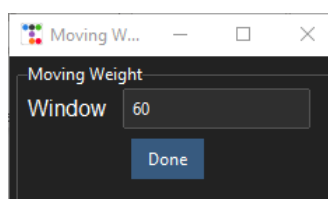
ก่อนทำการเปรียบเทียบผู้ใช้งานสามารถตั้งค่าการเปรียบเทียบได้ที่ตัวเลือกด้านขวา โดยสามารถเลือกวิธีการเปรียบเทียบระหว่าง “ท่อนกระดูก” หรือ “มุมข้อพับ” และสามารถเลือกขนาดของมุมที่คาดแตกต่างมากที่สุดได้ ดังรูป



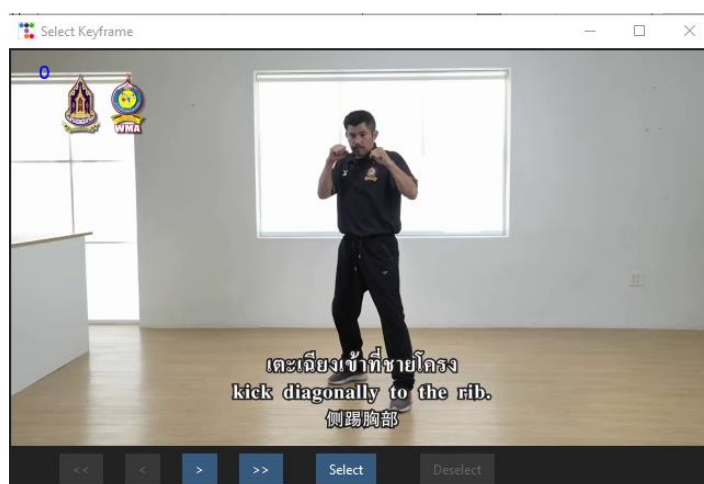
ถ้าผู้ใช้งานต้องการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักด้วยตนเองสามารถได้ที่ Checkbox “กำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก” ระบบจะปรากฏหน้าต่างเพื่อให้ค่าถ่วงน้ำหนักแต่ละส่วนตามรูปแบบการเปรียบเทียบดังรูป



ถ้าผู้ใช้งานต้องการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักแบบอัตโนมัติสามารถกดได้ที่ Checkbox “กำหนดค่าถ่วงน้ำหนักอัตโนมัติ” ระบบจะปรากฏหน้าต่างเพื่อให้ window ดังรูป



ถ้าผู้ใช้งานต้องการเพิ่มส่วนต่างของคะแนนสามารถกด Checkbox “เพิ่มส่วนต่างคะแนน” และถ้าหากต้องการกำหนดเฟรมที่สำคัญสามารถกด Checkbox “กำหนดเฟรมที่สำคัญของครูฝึก” ระบบจะปรากฏหน้าต่างเลือกเฟรมที่สำคัญของครูฝึก ดังรูป



โดยปุ่ม > และ < คือการเลื่อนไปเฟรมถัดไปหรือเฟรมก่อนหน้า 1 เฟรม ส่วนปุ่ม >> และ << คือเลื่อนไปเฟรมถัดไปหรือเฟรมก่อนหน้า 30 เฟรม เมื่อเจอเฟรมที่สำคัญแล้วกด “Select” เพื่อเลือกเป็นเฟรมที่สำคัญและสามารถยกเลิกเฟรมที่สำคัญด้วยการกดปุ่ม “Deselect” กับเฟรมที่ได้เลือกไว้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล นายณพงศ์ พิพัฒน์บวรกุล

รหัสนักศึกษา 63070219

วัน เดือน ปีเกิด 12 มีนาคม 2544

ประวัติการศึกษา

วุฒิ ม.6 โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) 2

ภูมิลำเนา 34/7 แยก 3 ซอย นวมินทร์ 143 ถนน นวมินทร์ แขวง นวลจันทร์ เขต บึงกุ่ม
กรุงเทพฯ 10230

เบอร์โทร 094-342-6130 E-mail 63070219@it.kmitl.ac.th

ชื่อ – นามสกุล นายวิน เวชสุวรรณ

รหัสนักศึกษา 63070232

วัน เดือน ปีเกิด 9 มีนาคม 2544

ประวัติการศึกษา

วุฒิ ม.6 โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า

ภูมิลำเนา 116/103 หมู่ 2 ถนน มิตรไมตรี แขวง คู่งแฝงเหนือ เขต หนองจอก กรุงเทพฯ 10530

เบอร์โทร 093-890-5293 E-mail 63070232@it.kmitl.ac.th