



เครื่องมือวาดภาพ 2 มิติโดยใช้การร่างภาพ สำหรับการสร้างภาพเคลื่อนไหวของภาษามือ

The Sketching-Based 2D Drawing Tool for Sign Language Animation

ณัฐสินี ตั้งศิริไพบุลย์ (Natsinee Tangsiripaiboon)* และ นราธิป เทียงแท้ (Narathip Tiangtae)*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จะนำเสนอเครื่องมือช่วยสร้างพจนานุกรมภาษามือไทยสามมิติ ซึ่งเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้จะใช้หลักการการร่างภาพ และนำหลักการกลศาสตร์แบบย้อนกลับมาประยุกต์ใช้เพื่อช่วยลดระยะเวลาในการสร้างภาพเคลื่อนไหวของภาษามือ นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังได้นำเสนอเทคนิคการกำหนดจำนวนคีย์เฟรมที่มีประสิทธิภาพสูงด้วยการวาดกราฟเส้นโค้ง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้มีประสิทธิภาพสูง

คำสำคัญ: ภาษามือ, การสร้างภาพเคลื่อนไหวด้วยการร่างภาพ

Abstract

This research presents a tool for building the 3D Thai Sign Language Dictionary. In order to reduce time in adding or editing the vocabulary, we developed a convenient tool based on sketching and applied Inverse Kinematics to help users create the vocabulary in a short period of time. In addition, we proposed an effective technique to calculate the number of frames between a pair of key frames by drawing a curve. The experiments showed that the proposed system is effective.

Keyword: Sign language, Sketching-based animation.

1. บทนำ

ปัจจุบันมีความพยายามที่จะนำคอมพิวเตอร์กราฟิกมาประยุกต์ใช้ในการสร้างภาพเคลื่อนไหว 3 มิติของท่ามือเพื่อช่วยในการเรียนการสอนภาษามือและการติดต่อสื่อสารระหว่าง

คนหูหนวกกับคนปกติ [1], [2], [3] การใช้ภาพเคลื่อนไหว 3 มิติเพื่อแสดงท่ามือนี้ช่วยทำให้การเรียนรู้ภาษามือเป็นไปได้มีประสิทธิภาพ เพราะผู้ใช้สามารถปรับเปลี่ยนมุมที่ต้องการดูย่อยขยายขนาดของโมเดล หรือจะดูก็ครั้งก็ได้ตามความพอใจ

นัทธินทีและคณะ [4] ได้นำเทคโนโลยีด้านคอมพิวเตอร์กราฟิกมาประยุกต์ใช้ในการสร้างพจนานุกรมภาษามือไทย 3 มิติ ซึ่งผู้ใช้สามารถเพิ่มและแก้ไขคำศัพท์เองได้ และสามารถนำคำศัพท์ภาษามือที่อยู่ในรูปแบบของภาพเคลื่อนไหว 3 มิติมาเรียงต่อกันได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้ทำให้บุคคลทั่วไปที่ต้องการเรียนภาษามือสามารถเรียนรู้ภาษามือเองได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ณัฐดนัยและคณะได้พัฒนาระบบแปลภาษาไทยเป็นภาษามือไทย 3 มิติแบบใช้กฎไวยากรณ์ (Rule-based Machine Translation) [5] โดยนำพจนานุกรมภาษามือไทยสามมิติที่ได้กล่าวไปในข้างต้นมาประยุกต์ใช้เป็นฐานข้อมูลคำศัพท์จุดเด่นของงานวิจัยนี้คือ สามารถแปลประโยคภาษาไทยไปเป็นประโยคภาษามือที่อยู่ในรูปแบบภาพเคลื่อนไหวสามมิติที่ใช้ได้จริงในชีวิตประจำวันของคนหูหนวกได้ แต่อย่างไรก็ตามประโยคที่สามารถแปลได้ในงานวิจัยนี้ยังถูกจำกัดอยู่ในขอบเขตแคบๆ เนื่องจากจำนวนคำศัพท์ของภาษามือที่บันทึกไว้ในพจนานุกรมยังมีจำนวนน้อย ซึ่งสาเหตุสำคัญที่ทำให้การสร้างภาพเคลื่อนไหวสามมิติของภาษามือไทยเป็นไปได้ด้วยความยากลำบากและต้องใช้เวลาก็คือ จำนวนคำศัพท์ของภาษามือซึ่งมีอยู่เป็นจำนวนมาก [6] และแต่ละคำมีการเคลื่อนไหวที่ซับซ้อน

จากปัญหาดังที่ได้กล่าวไปนี้จึงทำให้เกิดแนวคิดที่จะนำหลักการการสร้างภาพกราฟิกด้วยการวาดภาพในพิกัด 2 มิติ (Sketching-based) มาประยุกต์ใช้ในการสร้างและกำหนดการเคลื่อนไหวของแขนซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในการกำหนด

* กลุ่มวิจัยการจำลองทางคอมพิวเตอร์และการคำนวณ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่



ท่าทางของภาษามือ ซึ่งเทคโนโลยีการสร้างภาพ 3 มิติโดยการวาดภาพในระบบพิกัด 2 มิตินี้ได้รับการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง จุดเด่นของเทคโนโลยีนี้ก็คือ ผู้ใช้สามารถออกแบบโมเดล 3 มิติได้อย่างรวดเร็วและสามารถดัดแปลงแก้ไขรูปทรงที่ต้องการได้โดยง่ายและมีประสิทธิภาพ [7], [8], [9], [10]

ประโยชน์ที่จะได้รับจากการนำหลักการการวาดภาพ 2 มิติมาประยุกต์ใช้นี้ก็คือ สามารถช่วยให้การสร้างภาพเคลื่อนไหวสามมิติของภาษามือเป็นไปได้โดยมีประสิทธิภาพเสมือนกับว่าผู้ใช้งานกำลังสร้างภาพเคลื่อนไหวสามมิติบนแผ่นกระดาษโดยใช้เพียงดินสอและยางลบเท่านั้น นอกจากนี้ประสิทธิภาพผลของงานวิจัยนี้ยังเชื่อมโยงไปถึงประสิทธิภาพในการแปลภาษาไทยเป็นภาษามือ หรือจากภาษามือเป็นภาษาไทย ซึ่งจำเป็นต้องใช้คำศัพท์ภาษามือจำนวนมากได้อีกด้วย

2. งานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การรู้จำรูปทรงเรขาคณิต

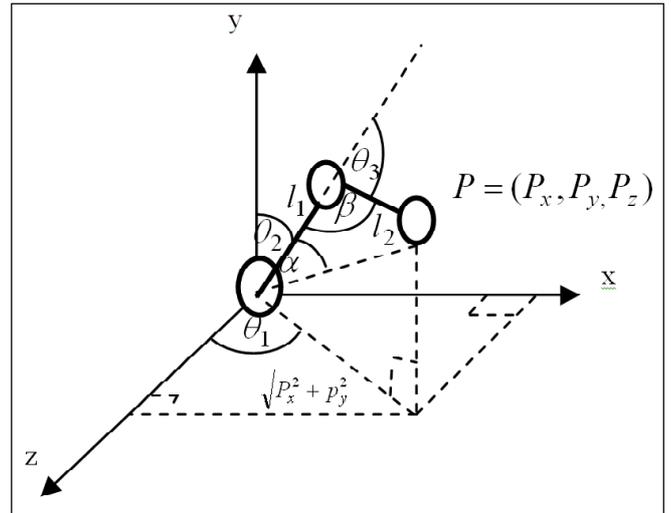
รูปทรงเรขาคณิตพื้นฐานในพิกัด 2 มิติที่จะนำมาใช้ในงานวิจัยนี้มีทั้งหมด 3 รูปแบบคือ เส้นตรง รูปสี่เหลี่ยม และรูปวงกลม การรู้จำรูปทรงพื้นฐานเหล่านี้จะนำหลักการการรู้จำรูปทรงเรขาคณิตที่มีคุณสมบัติแบบ Convex Hull [11] รูปทรงเรขาคณิตพื้นฐานที่ได้จากการวาดภาพและผลลัพธ์ที่ได้จากการรู้จำสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 1

รูปทรงที่วาด	รูปทรงที่รู้จำ

ภาพที่ 1 ตัวอย่างรูปทรงเรขาคณิตที่ใช้ในงานวิจัยนี้

2.2 กลศาสตร์แบบย้อนกลับ (Inverse kinematics)

กลศาสตร์แบบย้อนกลับเป็นหลักการที่นำมาช่วยในการคำนวณหามุมของข้อต่อในตำแหน่งหัวไหล่และข้อศอก ซึ่งมุมของหัวไหล่และข้อศอกจะถูกคำนวณให้โดยอัตโนมัติเพียงแค่รู้ตำแหน่งปลายของข้อมือเท่านั้น [12]



ภาพที่ 2 การคำนวณหามุมของหัวไหล่และข้อศอก

ถ้ากำหนดให้ $(p_x, p_y, p_z)^T$ คือตำแหน่งของข้อมือ l_1 คือความยาวของแขนท่อนบน l_2 คือความยาวของแขนท่อนล่าง มุม q_1 และ q_2 คือมุมที่ใช้กำหนดท่าของหัวไหล่ q_3 มุม คือมุมที่แขนส่วนบนกระทำกับแขนส่วนล่างดังภาพที่ 2

จากรูปเราสามารถคำนวณหามุมต่างๆ ได้ดังนี้

$$q_1 = \tan^{-1} \left(\frac{P_x}{P_z} \right) \quad (1)$$

$$q_2 = \frac{p}{2} - \tan^{-1} \left(\frac{P_y}{\sqrt{P_x^2 + P_z^2}} \right) \pm \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{1 - \cos^2 a}}{\cos a} \right) \quad (2)$$

$$q_3 = p \pm \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{1 - \cos^2 b}}{\cos b} \right) \quad (3)$$

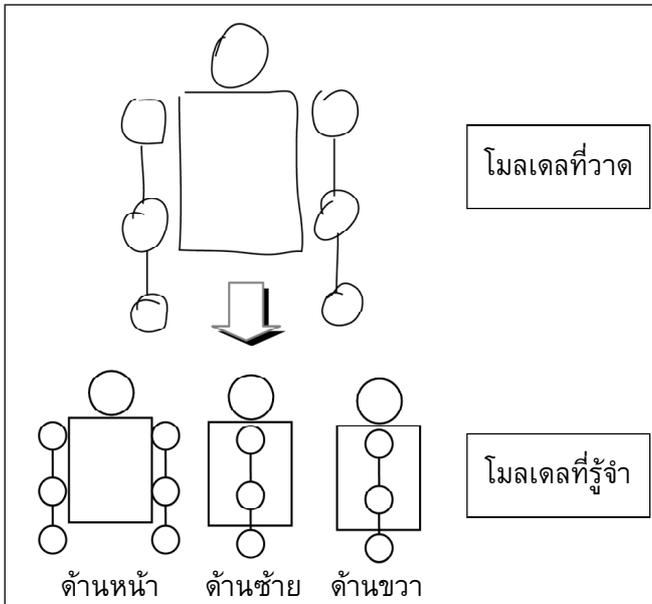
3. การสร้างภาพเคลื่อนไหวด้วยคีย์เฟรม

การสร้างภาพเคลื่อนไหวด้วยคีย์เฟรมเป็นหลักการที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการสร้างภาพเคลื่อนไหว ซึ่งคีย์เฟรมก็คือเฟรมที่ใช้กำหนดรายละเอียดการเคลื่อนไหวของโมเดลนั้นๆ โดยจะกำหนดข้อมูลการเคลื่อนไหวของมุมของข้อต่อของโมเดลลงในคีย์เฟรมต้นทางและคีย์เฟรมปลายทางเพียงเท่านั้น สำหรับข้อมูลการเคลื่อนไหวในเฟรมอื่นๆระหว่าง 2 คีย์เฟรมนี้จะถูกคำนวณให้โดยอัตโนมัติ โดยที่ผู้ใช้ไม่มีความจำเป็นต้องกำหนดการเคลื่อนไหวเอง [12]

3.1 ขั้นตอนวิธีการสร้างโมเดล 2 มิติและการสร้างคีย์เฟรม

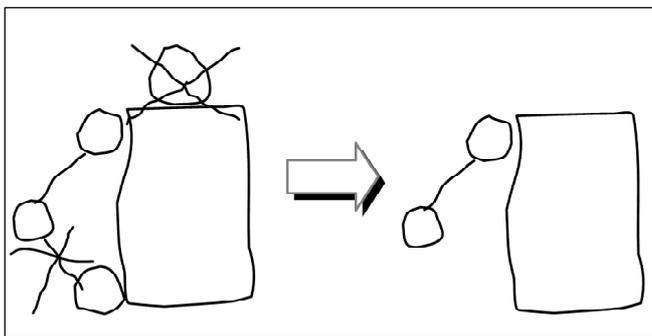
การสร้างภาพเคลื่อนไหวด้วยการวาดภาพในงานวิจัยนี้มีขั้นตอนวิธีดังต่อไปนี้

1) วาดร่างกายส่วนบนของโมเดลเสมือนมนุษย์ด้วยรูปวงกลม 7 รูป รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า 1 รูป และเส้นตรง 4 เส้น ซึ่งระบบจะทำการประมวลผลและตัดสินใจว่าภาพที่วาดขึ้นนั้นเป็นร่างกายส่วนบนของโมเดลหรือไม่โดยจะประเมินจากตำแหน่งและรูปแบบความสัมพันธ์ของภาพที่อยู่รอบข้าง หลังจากนั้นระบบจะทำการสร้างภาพ 2 มิติของโมเดลที่ผ่านกระบวนการตรวจสอบแล้วให้โดยอัตโนมัติโดยมีมุมมอง 3 ด้านดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การสร้างโมเดลด้วยรูปทรงเรขาคณิตพื้นฐาน

นอกจากนั้นในขั้นตอนนี้ผู้ใช้สามารถลบภาพที่วาดได้ด้วย การวาดเครื่องหมายกากบาททับภาพที่ต้องการลบดังภาพที่ 4

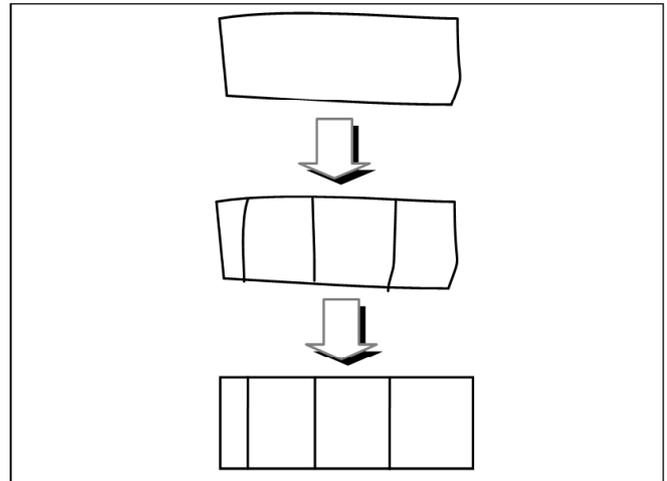


ภาพที่ 4 การลบภาพที่ไม่ต้องการด้วยเครื่องหมายกากบาท

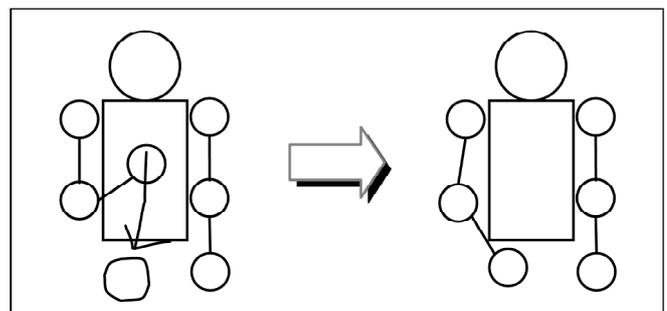
2) วาดเฟรมรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าด้านล่างของโมเดลและวาดเส้นตรงเพื่อแบ่งคีย์เฟรมให้ได้จำนวนตามที่ต้องการดังภาพที่ 5

3) กำหนดท่าใหม่ของแขนของโมเดลด้วยการวาดวงกลมของข้อมือข้างที่ต้องการเปลี่ยนตำแหน่ง หลังจากนั้นวาดลูกศรจากข้อมือไปยังวงกลมที่วาดขึ้นมาใหม่ดังภาพที่ 6 ระบบจะทำการประมวลผลและกำหนดตำแหน่งของหัวไหล่และข้อศอกใน

ท่าใหม่ให้โดยอัตโนมัติตามหลักการของกลศาสตร์แบบย้อนกลับ ซึ่งในการคำนวณจะยึดความยาวของแขนที่กำหนดไว้ในขั้นตอนที่ 1 เป็นเกณฑ์



ภาพที่ 5 การสร้างและกำหนดจำนวนคีย์เฟรม



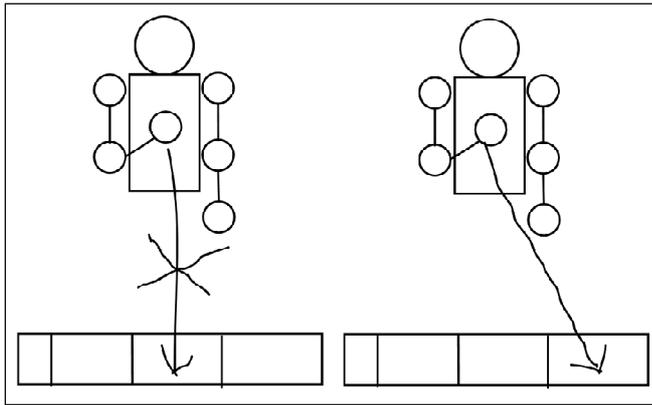
ภาพที่ 6 การปรับท่าแขนของโมเดล

นอกจากนั้นระบบจะทำการกำหนดระยะห่างเริ่มต้นจากข้อมือไปยังลำตัวให้โดยอัตโนมัติ ซึ่งผู้ใช้สามารถปรับตำแหน่งของข้อมือหรือข้อศอกในแนวแกนลึกได้จากระนาบในมุมมองด้านข้างทั้ง 2 ด้าน โดยการวาดวงกลมและลูกศรด้วยวิธีเดียวกัน

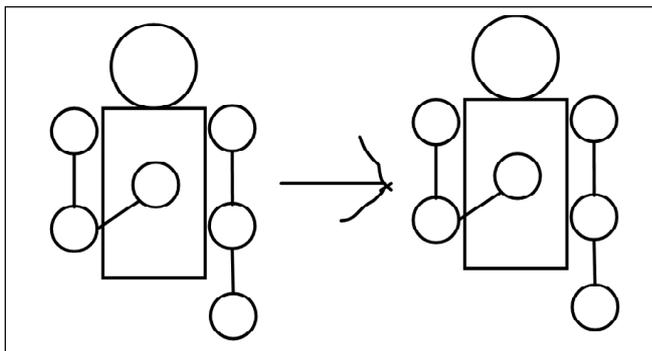
4) เชื่อมโมเดลกับคีย์เฟรมด้วยการวาดลูกศรจากจุดที่มีตำแหน่งอยู่ภายในตัวโมเดลไปยังจุดที่อยู่ในคีย์เฟรมที่ต้องการในกรณีที่ต้องการเปลี่ยนแปลงการเชื่อมโยงกับคีย์เฟรมสามารถทำได้โดยง่ายเพียงแค่ลบลูกศรนั้นด้วยการวาดเครื่องหมายกากบาททับแล้ววาดลูกศรเส้นใหม่ดังภาพที่ 7

5) กำหนดท่าแขนของโมเดลสำหรับคีย์เฟรมถัดไป ซึ่งในขั้นตอนนี้ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องวาดโมเดลขึ้นมาใหม่ทั้งหมด แต่สามารถถ่ายสำเนาข้อมูลของโมเดลในคีย์เฟรมก่อนหน้าได้ด้วยการวาดลูกศรจากตำแหน่งของโมเดลในคีย์เฟรมปัจจุบันไปยังด้านขวาดังภาพที่ 8

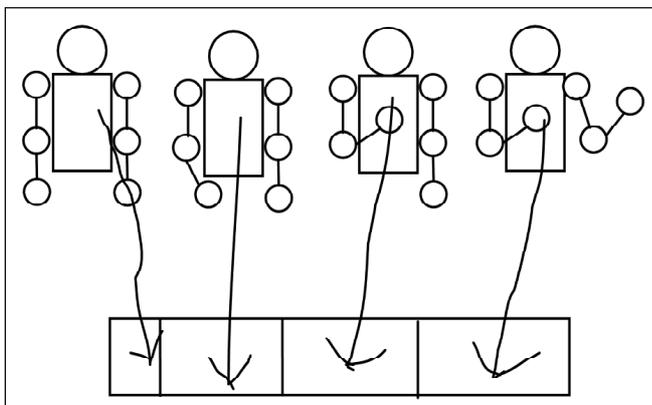
6) กำหนดท่าของโมเดลที่ต้องการในแต่ละคีย์เฟรมจนครบตามขั้นตอนวิธีที่ได้กล่าวมาดังตัวอย่างในภาพที่ 9



ภาพที่ 7 การเชื่อมโมเดลกับคีย์เฟรม



ภาพที่ 8 การถ่ายสำเนาข้อมูลโมเดล



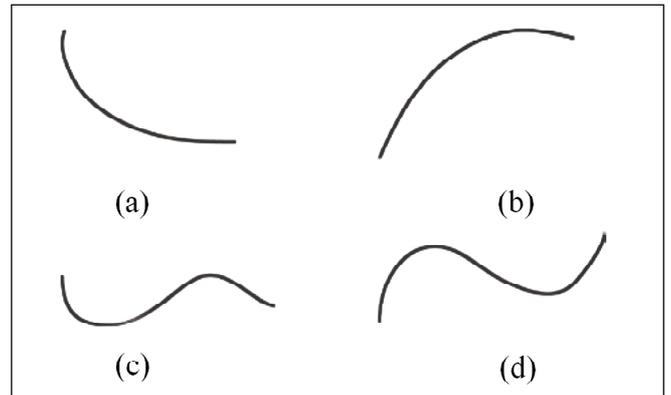
ภาพที่ 9 ตัวอย่างการกำหนดท่าของโมเดลด้วย 4 คีย์เฟรม

3.2 การปรับความเร็วของภาพเคลื่อนไหวด้วยกราฟเส้นโค้ง

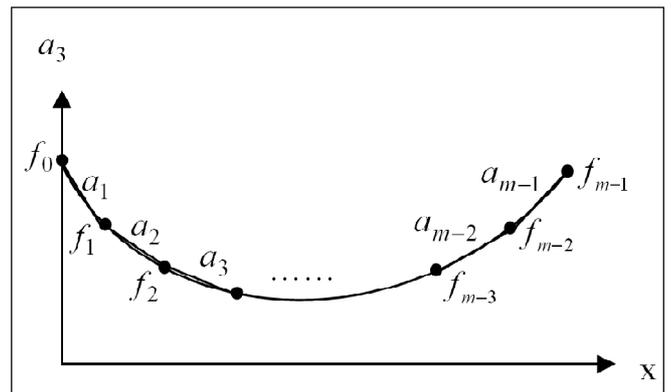
ในการสร้างภาพเคลื่อนไหว การกำหนดจำนวนเฟรมระหว่างคีย์เฟรมแต่ละช่วงเป็นปัจจัยสำคัญที่จะช่วยให้เราสามารถปรับความเร็วในการแสดงผลภาพได้ตามความต้องการ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะนำเสนอวิธีการกำหนดจำนวนเฟรมระหว่างคีย์เฟรมด้วยกราฟเส้นโค้งดังตัวอย่างในภาพที่ 10

ในการคำนวณหาฟังก์ชันของกราฟเส้นโค้งที่วาดขึ้นจะใช้หลักการการประมาณค่าในช่วงเชิงพหุนาม (Polynomial

Interpolation) มาช่วยในการคำนวณ โดยจะกำหนดให้กำลังสูงสุดของพหุนามเท่ากับ 5 กำหนดให้ m คือจำนวนคีย์เฟรมทั้งหมดของภาพเคลื่อนไหวที่สร้างขึ้น f_0 และ f_{m-1} คือจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายของกราฟเส้นโค้งและเป็นจุดที่สัมพันธ์กับคีย์เฟรมแรกและคีย์เฟรมสุดท้ายของภาพเคลื่อนไหวตามลำดับ แบ่งกราฟออกเป็น $m-1$ ช่วงเท่าๆ กันดังภาพที่ 11



ภาพที่ 10 ตัวอย่างกราฟเส้นโค้งที่ใช้ในการปรับความเร็ว

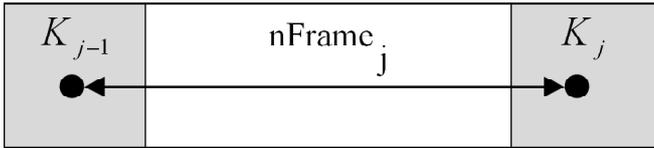


ภาพที่ 11 การใช้กราฟเส้นโค้งในการกำหนดจำนวนเฟรม

จากภาพที่ 11 ถ้ากำหนดให้ a_i คือความชันของเส้นตรงที่ลากผ่านจุด f_{i-1} และ f_i และกำหนดให้ w_i มีค่าดังนี้

$$w_i = \begin{cases} |a_i| & ;if \ a_i < -1 \\ 1 & ;if \ -1 \leq a_i \leq 1 \\ 1/|a_i| & ;if \ a_i > 1 \end{cases} \quad (4)$$

ถ้ากำหนดให้ T คือระยะเวลาในการแสดงภาพเคลื่อนไหวของคำศัพท์ 1 คำ Dt คือระยะเวลาที่ต้องใช้ในการแสดงภาพ 1 เฟรม และกำหนดให้ $n = [T / Dt]$ คือจำนวนเฟรมที่สามารถแสดงได้ในระยะเวลา



ภาพที่ 12 จำนวนคีย์เฟรมตั้งแต่คีย์เฟรม K_{j-1} ถึง K_j

กำหนดให้ $nFrame_j$ คือจำนวนเฟรมตั้งแต่คีย์เฟรมลำดับที่ $j-1$ ถึงคีย์เฟรมลำดับที่ j ดังภาพที่ 12 โดยที่

$$nFrame_j = \left\lfloor \frac{w_j}{\sum_{i=1}^{m-1} w_i} \times n \right\rfloor, 1 \leq j \leq m-1 \quad (5)$$

จากสมการที่ 4 และ 5 จะเห็นว่าถ้าความชันของกราฟระหว่าง 2 คีย์เฟรมมีค่าเป็นลบ จำนวนเฟรมระหว่างคีย์เฟรมทั้งสองจะมีจำนวนมากซึ่งจะใช้เวลาในการแสดงผลภาพระหว่างคีย์เฟรมนาน ตรงกันข้ามถ้าความชันของกราฟมีค่าเป็นบวก จำนวนเฟรมระหว่างคีย์เฟรมจะมีจำนวนน้อยซึ่งจะใช้เวลาในการแสดงผลภาพระหว่างคีย์เฟรมสั้น

4. ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ใช้ Microsoft Visual C++ 2010 Express Edition ในการพัฒนาโปรแกรม และใช้ OpenGL ในการแสดงผลภาพ โดยการทดลองจะแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ การทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการรู้จำโมเดล และการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการกำหนดการเคลื่อนไหวของแขนในภาษามือ

4.1 การทดสอบประสิทธิภาพในการรู้จำโมเดล

ในการทดลองนี้ได้ให้ผู้ทดลองทั้งหมด 3 คน วาดรูปโมเดลเสมือนคน รูปกากบาท รูปลูกศร และรูปคีย์เฟรม คนละ 20 ภาพต่อ 1 ประเภท โดยผู้ทดลองทุกคนจะรู้จักประกอบที่จำเป็นทุกอย่างของโมเดลในแต่ละรูปแบบ ผลการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 1

จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าความแม่นยำในการรู้จำโมเดลรูปแบบต่างๆ ที่จำเป็นในการสร้างภาพเคลื่อนไหวอยู่ในระดับที่น่าพอใจ

4.2 การทดสอบประสิทธิภาพในการสร้างคำศัพท์ภาษามือ

จุดประสงค์หลักของงานวิจัยนี้คือการกำหนดท่าแขนซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการสร้างคำศัพท์ภาษามือ 3 มิติที่มีความซับซ้อน ในการทดลองนี้ให้ผู้ทดลอง 3 คนเดิมทำการสร้าง

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพในการรู้จำภาพของโมเดลต่างๆ

โมเดลที่วาด	ความแม่นยำในการรู้จำ (%)
คน	90
กากบาท	100
ลูกศร	93.33
คีย์เฟรม	91.66

คำศัพท์ภาษามือมาคนละ 100 คำ โดยคำศัพท์ภาษามือที่สร้างขึ้นนั้นมีทั้งคำศัพท์ที่มีการเคลื่อนไหวที่ซับซ้อนและไม่ซับซ้อน และคำศัพท์ที่ใช้แขนเดียวและสองแขน

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้จากการใช้ระบบที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้จากการใช้โปรแกรมสร้างพจนานุกรมภาษามือไทย 3 มิติ [4] สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ระยะเวลาที่ใช้ในการสร้างคำศัพท์ภาษามือ

ประเภทของภาษามือ	เวลาโดยเฉลี่ย งานวิจัย [4] (นาที)	เวลาโดยเฉลี่ย [งานวิจัยนี้] (นาที)
แบบมือเดียวไม่	1.57	0.89
แบบมือเดียวซับซ้อน	3.41	1.3
แบบสองมือไม่	2.43	1.49
แบบสองมือซับซ้อน	5.61	2.22

จากตารางที่ 2 จะเห็นว่าระบบที่พัฒนาขึ้นจากงานวิจัยนี้ช่วยให้ผู้ใช้สามารถสร้างภาพเคลื่อนไหว 3 มิติของภาษามือได้อย่างรวดเร็ว

5. บทสรุป

งานวิจัยนี้ได้นำหลักการการวาดภาพ 2 มิติมาประยุกต์ใช้ในการสร้างภาพเคลื่อนไหว 3 มิติของคำศัพท์ภาษามือไทยโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้การสร้างภาพเคลื่อนไหวของภาษามือเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพเสมือนกับว่าผู้ใช้งานกำลังสร้างภาพเคลื่อนไหว 3 มิติบนแผ่นกระดาษโดยใช้เพียงดินสอและยางลบเท่านั้น นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังได้นำหลักการกลศาสตร์แบบย้อนกลับมาช่วยในการกำหนดท่าทางการเคลื่อนไหวของโมเดล และได้นำเสนอวิธีการปรับความเร็วของภาพเคลื่อนไหว



ด้วยกราฟเส้นโค้งซึ่งช่วยให้ผู้ใช้สามารถกำหนดความเร็วของภาพเคลื่อนไหวในแต่ละช่วงของคีย์เฟรมได้โดยง่ายและมีประสิทธิภาพ

นอกจากนั้นในมุมมองของการแปลภาษาด้วยคอมพิวเตอร์แบบใช้กฎ จำนวนคำศัพท์ที่บันทึกไว้ในพจนานุกรมภาษาต้นทางและปลายทางจะมีผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพในการแปล ดังนั้นระบบที่พัฒนาขึ้นนี้นอกจากจะช่วยให้การสร้างพจนานุกรมภาษามือไทย 3 มิติเป็นไปได้โดยมีประสิทธิภาพแล้ว ยังจะเชื่อมโยงไปถึงประสิทธิภาพในการแปลจากภาษาไทยเป็นภาษามือหรือจากภาษามือเป็นภาษาไทยได้อีกด้วย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Yeates, E.J. Holden, and R. Owens, "An Animated Auslan Tuition System," in *International Journal of Machine Graphics and Vision*, Vol. 12, No. 2, pp. 203-214, 2003.
- [2] Xu Lin, Gao Wen, "Human-Computer Chinese Sign Language Interaction System," *Human-Computer Chinese Sign Language Interaction System*, Vol.4, No.3, 2000.
- [3] Hirohiko Sagawa, Masaru Takeuchi, "A Teaching System of Japanese Sign Language Using Sign Language Recognition and Generation," *Proceedings of the tenth ACM international conference on Multimedia*, Juan-les-Pins, France, pp. 137-145, 2002.
- [4] N. Maneerat, N. Tiangtae, "Development of Tools for Building the 3D Thai Sign Language Dictionary," *Proceedings of the 6th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE 2009)*, Phuket, Thailand, pp. 27-32, May 2009.
- [5] N. Homkong, N. Maneerat, N. Tiangtae, "Development of Thai-3D Thai Sign Language Machine Translation System," *Proceeding of the 2nd ECTI-Conference on Application Research and Development*, Pattaya, Thailand, pp. 111-116, May 2010.
- [6] คณะวิจัยภาษามือไทย, *พจนานุกรมภาษามือไทย ฉบับปรับปรุงและขยายเพิ่มเติม*, สมาคมคนหูหนวกแห่งประเทศไทย (ส.ห.ท.), เล่ม 1 -2, กรุงเทพฯ, 2533.
- [7] R.C. Zeleznik, K.P. Herndon, J.F. Hughes, "SKETCH: An interface for sketching 3D scenes," *SIGGRAPH'96*.
- [8] T. Igarashi, S. Matsuoka, H. Tanaka, "Teddy: A Sketching Interface for 3D Freeform Design," *SIGGRAPH'99*.
- [9] V. Kraevoy, A. Sheffer, Michiel van de Panne., "Modeling from Contour Drawings," *EUROGRAPHICS Symposium on Sketch-Based Interfaces and Modeling*, 2009.
- [10] J. LaViola, R. Zeleznik, "MathPad2, A System for the Creation and Exploration of Mathematical Sketches," *ACM Transactions on Graphics*, 23(3), pp. 423-440, August, 2004.
- [11] A. Apte, V. Vo, T.D. Kimura, "Recognizing Multistroke Geometric Shapes: An Experimental Evaluation," *Proceedings of ACM conference on User Interface and Software Technology (UIST)*, pp. 121-128, 1993.
- [12] Nik Lever, *Real-time 3D Character Animation with Visual C++*, Focal Press, 2002.