

อุปกรณ์บันทึกการเคลื่อนไหวของโครงสร้างกระดูกนักแสดง

A Skeleton-based Motion Capture Device for Human Model Skeleton

เมธิ์น ปิงสุทริวงศ์

บัณฑิตภาควิชาชีพการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ปทุมธานี 12121

ภาวดี สมภักดี

ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ปทุมธานี 12121

บทคัดย่อ

การบันทึกการเคลื่อนไหว เป็นเทคนิคในการตรวจจับการเคลื่อนไหวโดยตรงจากคนหรือวัตถุจริง และสามารถนำไปควบคุมการเคลื่อนไหวตัวละครหรือวัตถุในคอมพิวเตอร์ ปัจจุบันเทคนิคดังกล่าวถูกใช้งานกันอย่างแพร่หลายในการสร้างภาพเคลื่อนไหวให้กับตัวละครในคอมพิวเตอร์เนื่องจากข้อมูลที่บันทึกได้มีลักษณะการเคลื่อนไหวที่สมจริง งานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีในการนำข้อมูลการเคลื่อนไหวที่ได้จากคนมาแสดงการเคลื่อนไหวตัวละครในคอมพิวเตอร์ โดยการออกแบบและสร้างอุปกรณ์บันทึกการเคลื่อนไหวด้วยรูปแบบการบันทึกการเคลื่อนไหวทางกล ตามลักษณะโครงสร้างกระดูกของร่างกาย โดยมีส่วนประกอบ 2 ส่วนคือ **ต้นแบบโครงกระดูกของร่างกาย**สำหรับบันทึกการเคลื่อนไหวทุกส่วนของร่างกายและ**ต้นแบบโครงกระดูกแขนและนิ้วมือ**สำหรับบันทึกการเคลื่อนไหวในส่วนของแขนและนิ้วมือ การเคลื่อนไหวของตัวละครถูกสร้างจากข้อมูลที่บันทึกโดยตรง จำนวนข้อมูลที่บันทึกจากต้นแบบโครงกระดูกของร่างกายมี 27 ค่า และจำนวนข้อมูลของนิ้วมือแต่ละมือที่บันทึกจากต้นแบบโครงกระดูกแขนและนิ้วมือมี 16 ค่า อัตราการบันทึกการเคลื่อนไหวมากกว่า 39 เฟรมต่อวินาที ระบบนี้สามารถแสดงผลการเคลื่อนไหวของตัวละครแบบ Real-time และสามารถปรับปรุงแก้ไขข้อมูลการเคลื่อนไหวเพื่อให้ได้การเคลื่อนไหวใหม่ตามที่ต้องการ งานวิจัยนี้ได้แสดงถึงประสิทธิภาพของระบบโดยการบันทึกการเคลื่อนไหวจากส่วนต่างๆของร่างกายรวมถึงนิ้วมือทั้งสองข้างและสร้างการเคลื่อนไหวของตัวละครจากข้อมูลการเคลื่อนไหวที่ได้ทำการปรับปรุงแก้ไขแล้ว

Abstract

Motion capture is the technique of capturing the movement of a real object and mapping it onto the computer-generated object. It is widely used for character animations since motion capture data contain many of the stylistic details seen in human motion. In this paper we propose an automatic approach for scaling of kinematic parameters from a human performer to the kinematic parameters of a virtual model. It is the mechanical system composed of two separated parts: a full body and a hand. The kinematic model is constructed directly from the motion capture data without manual measurements. The numbers of data values obtained from each part are 27 and 16 degrees of freedom (DOF) correspondingly with the frame rate of more than 39 frames a second. The system is able to display the motion capture sequences in real time and edit motion data to account for changes in characters. We demonstrate the power of our system by tracking data for a variety of hand and body motions as well as animating models with edited data.

1. บทนำ

การบันทึกการเคลื่อนไหว (Motion Capture) เป็นเทคนิคที่ช่วยในการสร้างภาพเคลื่อนไหวของตัวละครที่มีโครงสร้างกระดูกคล้ายคลึงกับโครงสร้างกระดูกมนุษย์ ดังนั้นจึงสามารถใช้นักแสดงจริงกำหนดท่าทาง และใช้อุปกรณ์ติดตั้งที่ส่วนต่างๆของร่างกายของนักแสดง ณ บริเวณรอยต่อของกระดูกที่มีผลต่อการเคลื่อนไหว เพื่อบันทึกข้อมูล และนำข้อมูลแต่ละส่วน ไปจับคู่กับรอยต่อกระดูกของตัวละครที่สร้างจากคอมพิวเตอร์ ทำให้นักแสดงนั้นสามารถควบคุมการเคลื่อนไหวของตัวละครได้ โดยทั่วไปแล้วข้อมูลการเคลื่อนไหวที่ได้จากอุปกรณ์บันทึกการเคลื่อนไหวนั้น มักประกอบไปด้วยตำแหน่งของจุดที่บันทึก และมุมที่โครงกระดูกทำกับแกนหลัก [1]

โรงภาพยนตร์ของบริษัทดิสนีย์ ได้ริเริ่มแนวคิดดังกล่าวสำหรับฉากเด่นแรกในการ์ตูนเรื่อง Snow White ซึ่งโดยปกติแล้วจะใช้เทคนิคการสร้างภาพเคลื่อนไหวที่เรียกว่า Keyframing กล่าวคือ ให้นักวาดการ์ตูนที่มีความชำนาญในการวาดภาพกำหนดภาพหลัก และให้ผู้อื่นช่วยต่อเติมภาพที่แสดงการเคลื่อนไหวจากภาพหลักหนึ่งไปยังอีกภาพหนึ่ง แต่สำหรับฉากเด่นแรกนี้ทำให้สมจริงได้ยาก ดังนั้น จึงให้นักแสดงเต้นรำตามจังหวะเพลงและบันทึกรอยเท้า เพื่อให้ตัวการ์ตูนเคลื่อนไหวโดยใช้ตำแหน่งที่ได้สำหรับกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ และเรียกเทคนิคนี้ว่า Rotoscoping ซึ่งนับเป็นจุดเริ่มต้นของการบันทึกการเคลื่อนไหว [20]

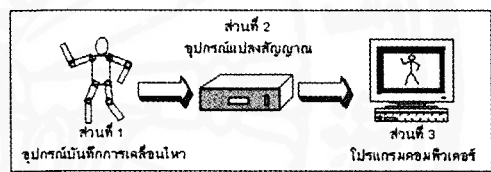
การใช้ข้อมูลของนักแสดงจริงนั้น นอกจากจะช่วยลดเวลาในการกำหนดภาพในเฟรมหลักแล้วยังมีส่วนช่วยให้สามารถนำข้อมูลการเคลื่อนไหวมาปรับปรุงแก้ไข สร้างภาพที่ไม่สามารถถ่ายจากนักแสดงจริงในสถานการณ์จริง รวมทั้งนำภาพเคลื่อนไหวที่มีอยู่มาดัดต่อเป็นการเคลื่อนไหวใหม่

จากประโยชน์ในการใช้งานดังกล่าวนี้เอง จึงทำให้มีผู้ประดิษฐ์คิดค้นอุปกรณ์เพื่อใช้ในการบันทึกการเคลื่อนไหว และพัฒนาระบบโปรแกรมเพื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาประยุกต์ใช้งานเป็นจำนวนมาก ซึ่งอาจแบ่งออกได้เป็นสองระบบคือ ระบบที่แสดงผลหรือภาพการเคลื่อนไหวทันที และระบบที่เก็บข้อมูลเพื่อทำการประมวลผลภายหลัง

สำหรับระบบแรกนั้น มักใช้เครื่องวัดการเคลื่อนไหวทางกล (Mechanical Motion Capture System) ซึ่งใช้

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ไปติดตามส่วนต่างๆของร่างกายนักแสดง หรือหุ่นขนาดเล็ก หรือโดยการใช้สนามแม่เหล็ก (Magnetic Motion Capture System) ซึ่งนักแสดงจะต้องสวมใส่ชุดอุปกรณ์ตรวจจับสนามแม่เหล็ก ที่ส่งจากตัวสร้างแม่เหล็ก และนำข้อมูลดังกล่าวไปหาตำแหน่งและทิศทางของการเคลื่อนไหว ข้อเสียของระบบนี้คือความไม่สะดวกในการใช้งาน เนื่องจากนักแสดงต้องสวมใส่อุปกรณ์และข้อมูลที่ได้อาจไม่แม่นยำ

ส่วนในระบบที่สองนั้นใช้งานได้สะดวกกว่า นักแสดงไม่ต้องสวมใส่อุปกรณ์ แต่ใช้เครื่องหมาย (Marker) ติดตั้งตามส่วนต่างๆตามร่างกายและใช้กล้องบันทึกภาพชนิดพิเศษบันทึกการเคลื่อนไหว จากนั้นนำภาพที่บันทึกได้ในแต่ละเฟรมมาประมวลผลเพื่อหาตำแหน่งและทิศทางของเครื่องหมาย(marker) เหล่านี้ ปัญหาของระบบนี้คือบางครั้งนักแสดงอาจบังมุมกล้องทำให้ไม่สามารถบันทึกตำแหน่งของเครื่องหมายได้ [19]



รูปที่ 1 แสดงภาพรวมของโครงสร้างในส่วนต่างๆของงานวิจัย

ถึงแม้จะมีการวิจัยและพัฒนาระบบอย่างแพร่หลายจนถึงปัจจุบันนี้ แต่ระบบดังกล่าวก็ยังไม่สมบูรณ์ โดยเฉพาะเมื่อตัวละครมีโครงสร้างที่สลับซับซ้อน และข้อมูลเกี่ยวกับการพัฒนาระบบดังกล่าวหาได้ยากเนื่องจากเป็นงานวิจัยที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้เสนอแนวคิดในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ต้นแบบที่ใช้บันทึกการเคลื่อนไหวจากคนในรูปแบบระบบบันทึกการเคลื่อนไหวทางกล และพัฒนาโปรแกรมสำหรับบันทึกและสามารถแสดงภาพการเคลื่อนไหวของตัวละครในระบบ 3 มิติ โดยได้ทำการออกแบบอุปกรณ์บันทึกการเคลื่อนไหว 2 ส่วนคือ อุปกรณ์ต้นแบบโครงกระดูกของร่างกายที่สามารถบันทึกการเคลื่อนไหวได้ทุกส่วนของร่างกาย และอุปกรณ์ต้นแบบโครงกระดูกแขนและนิ้วมือที่สามารถแสดงการเคลื่อนไหวในส่วนของแขนและนิ้วมือ เพื่อใช้เป็นต้นแบบสำหรับใช้พัฒนาอุปกรณ์บันทึกการเคลื่อนไหวที่คนสามารถสวมใส่ได้จริงต่อไป ผู้ใช้สามารถควบคุมการเคลื่อนไหวของอุปกรณ์ทั้งสองนี้ได้โดยตรง

ภายในอุปกรณ์บันทึกการเคลื่อนไหวทั้งสองประกอบด้วยอุปกรณ์สำหรับตรวจจับการเคลื่อนไหว ซึ่งขณะที่มีการเคลื่อนไหว อุปกรณ์เหล่านี้จะส่งข้อมูลการเคลื่อนไหวไปยัง “อุปกรณ์แปลงสัญญาณ” ซึ่งทำหน้าที่แปลงข้อมูลการเคลื่อนไหวให้เป็นข้อมูลในรูปแบบที่คอมพิวเตอร์เข้าใจได้ เพื่อนำมาบันทึกเป็นข้อมูลและแสดงเป็นภาพการเคลื่อนไหวของตัวละคร 3 มิติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ รวมทั้งแสดงการปรับปรุงแก้ไขการเคลื่อนไหวของตัวละครด้วยโปรแกรม Motion Editing [2] ลำดับขั้นตอนดังกล่าวแสดงในรูปที่ 1

2. ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวกับการปรับแต่งการเคลื่อนไหว (Motion Editing) ในปัจจุบัน ได้มีการพัฒนาในหลายรูปแบบเพื่อการใช้งานที่สะดวกและสามารถปรับแต่งการเคลื่อนไหวที่มีอยู่เดิมได้ โดยมากแล้วนักสร้างภาพเคลื่อนไหวจะนำเอาข้อมูลการเคลื่อนไหวที่มีอยู่เดิมาปรับปรุงแก้ไขเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ใหม่ ตัวอย่างเช่น เทคนิคการปรับแต่งการเคลื่อนไหวที่ได้จากตัวละครต้นแบบเพื่อนำไปใช้กับตัวละครอื่นๆ[8] หรือการปรับแต่งการเคลื่อนไหวที่ได้จากสภาวะแวดล้อมหนึ่งเพื่อนำไปใช้กับสภาวะแวดล้อมอื่นๆ[6] นักสร้างภาพเคลื่อนไหวยังสามารถเชื่อมต่อการเคลื่อนไหวสองชุดเข้าด้วยกัน โดยการนำเอาเฟรมสุดท้ายของการเคลื่อนไหวชุดแรกมาเชื่อมต่อกับเฟรมแรกของการเคลื่อนไหวชุดที่สอง [3] นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่เกี่ยวกับการนำเอกลักษณ์อารมณ์หรือท่าทางของการเคลื่อนไหวต้นแบบมาดัดแปลงให้มีลักษณะอารมณ์หรือท่าทางแบบอื่นๆ[18]

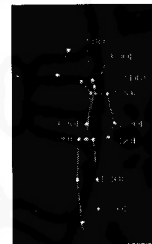
ในการพัฒนาเทคนิคปรับแต่งการเคลื่อนไหวนั้นได้มีความพยายามให้ระบบสามารถทำงานได้โดยอัตโนมัติเพื่อลดภาระของผู้สร้างภาพเคลื่อนไหว ดังนั้นจึงมีการนำวิธีการสร้างข้อจำกัดโดยกำหนดเงื่อนไขในการเคลื่อนไหวในรูปแบบที่สามารถได้ตอบกับผู้ใช้งานขณะที่ทำการปรับแต่งได้ “Gleicher”[15]แสดงถึงเครื่องมือที่ใช้ในการปรับแต่งการเคลื่อนไหว โดยการสร้างการเคลื่อนไหวใหม่จากข้อจำกัดที่ผู้ใช้กำหนดโดยให้ระบะการเปลี่ยนแปลงจากการเคลื่อนไหวเดิมมีค่าน้อยที่สุด [8]แสดงวิธีการปรับเปลี่ยนการเคลื่อนไหวจากตัวละครต้นแบบที่มีอยู่เดิม เพื่อนำไปใช้กับตัวละครแบบอื่นๆที่มีขนาดโครงสร้างที่แตกต่างกันและ

“Lee et al”[2] ได้เสนอวิธีการปรับแต่งการเคลื่อนไหวที่สามารถตอบสนองผู้ใช้งานได้อย่างรวดเร็ว

ปัจจุบันระบบปรับแต่งการเคลื่อนไหวส่วนใหญ่ถูกออกแบบให้สามารถปรับแต่ง เพื่อแสดงการเคลื่อนไหวที่นอกเหนือจากเกณฑ์ของธรรมชาติได้ “Popovic” และ “Witkin”[17] ได้เสนอวิธีลดจำนวนมิติลงเพื่อใช้ในการปรับแต่งการเคลื่อนไหวที่รวดเร็ว โดยยังคงคุณสมบัติทางฟิสิกส์อยู่

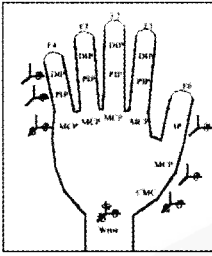
3. การออกแบบอุปกรณ์บันทึกการเคลื่อนไหว

การออกแบบอุปกรณ์บันทึกการเคลื่อนไหว(ส่วนที่ 1) อาศัยความรู้เกี่ยวกับรูปแบบสรีระ (anatomy) ของร่างกายคน ที่เกี่ยวกับตำแหน่งของข้อต่อ จำนวนมุมหมุนและข้อจำกัดของการเคลื่อนไหวในแต่ละส่วนของร่างกาย



รูปที่ 2 จำนวน Degrees Of Freedom(DOF) ของร่างกายคน

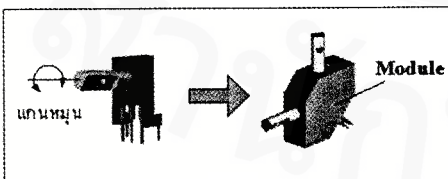
การเคลื่อนไหวในส่วนต่างๆของร่างกายเกิดจากข้อมูลที่ได้จากการกำหนดตำแหน่ง(position) และมุมหมุน(orientation)ในแต่ละส่วนของร่างกายคน หรือที่เรียกว่า degrees of freedom(DOF) การบันทึกการเคลื่อนไหวจะเป็นการบันทึกตำแหน่งการเคลื่อนที่และมุมที่หมุนไป จากรูปที่ 2 แสดงจำนวน DOF ในแต่ละส่วนของร่างกายคน [3] รวมทั้งหมด 38 DOF ตัวอย่างเช่น หัวไหล่สามารถหมุนด้วยมุมอิสระถึง 3 DOF, หัวเข่าสามารถหมุนด้วยมุมอิสระเพียง 1 DOF เป็นต้น นอกจากนี้เรายังต้องพิจารณาอีก 6 DOF ที่ระบุถึงตำแหน่งและทิศทางของการเคลื่อนไหวของร่างกายโดยรวม ณ ตำแหน่งตะโพก เพราะถือว่าเป็นจุดศูนย์กลางมวล(center of mass)ของร่างกาย ดังนั้นจึงใช้ 3 DOF แสดงถึงตำแหน่ง และ 3 DOF แสดงถึงทิศทางหมุน



รูปที่ 3 จำนวน DOF บนฝ่ามือ[4]

สำหรับมือทั้งสองข้างประกอบด้วยส่วนของฝ่ามือ (hand) และนิ้วมือ(fingers) ดังแสดงในรูปที่ 3 แสดงจำนวน DOF ของนิ้วมือแต่ละนิ้ว รวมทั้งสิ้น 20 DOF และแสดงแกนหมุนสำหรับแต่ละ DOF [4] ในส่วนของข้อมือจะใช้ 3 DOF เพื่อควบคุมการหมุน

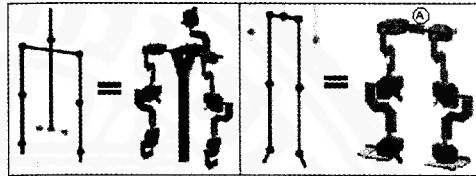
รูปแบบของอุปกรณ์บันทึกการเคลื่อนไหวของงานวิจัยนี้ใช้อุปกรณ์ Sensor ประเภทปรับค่าความต้านทานได้ หรือ Potentiometer สำหรับออกแบบอุปกรณ์ทั้งต้นแบบโครงกระดูกของร่างกายและต้นแบบโครงกระดูกแขนและนิ้วมือเนื่องจากอุปกรณ์ Sensor ดังแสดงในรูปที่ 4 มีแกนหมุนที่สามารถตรวจวัดการหมุนในเชิงกลได้ ดังนั้นจึงใช้แกนหมุนของอุปกรณ์ Sensor ในการตรวจวัดการหมุนของมุมหมุนโดยอ้างอิงตำแหน่งและจำนวน DOF จากรูปแบบสรีระ(anatomy)ของร่างกายคนดังรูปที่ 2 ข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ Sensor นี้เป็นข้อมูลที่แสดงถึงขนาดของมุมที่หมุนไปในรูปของแรงดันไฟฟ้า(Voltage) รูปแบบของอุปกรณ์ Potentiometer 1 ตัวสามารถแทนมุมหมุนได้ 1 มุมหรือ 1 DOF และเมื่อนำอุปกรณ์ Potentiometer จำนวน 2 ตัวมาเชื่อมต่อกันให้อยู่ในรูปของ Module เราสามารถนำไปใช้กับข้อต่อที่มีมุมหมุนจำนวน 2 DOF ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 Potentiometer และ ลักษณะของ Module

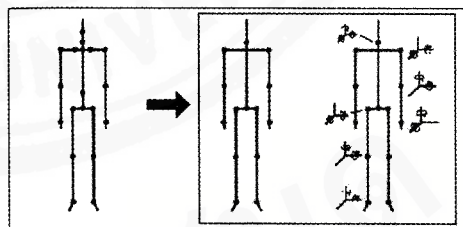
3.1 ต้นแบบโครงกระดูกของร่างกาย สำหรับต้นแบบโครงกระดูกของร่างกายที่ออกแบบมานั้น เป็นการนำเอาแต่ละ

Module มาเชื่อมต่อกัน โดยใช้แกนเชื่อมต่อแต่ละ Module เพื่อให้มีรูปแบบและจำนวน DOF ใกล้เคียงกับหลักสรีระในรูปที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 5 รูปทางด้านซ้าย แสดงการเชื่อมต่อแต่ละ Module ของส่วนลำตัวช่วงบนของร่างกาย(ศีรษะ, แขนทั้งสอง) และรูปทางด้านขวาแสดงส่วนลำตัวช่วงล่างของร่างกาย(ตะโพก, ขาทั้งสอง)



รูปที่ 5 การเชื่อมต่อแต่ละ Module ของลำตัวช่วงบนและลำตัวช่วงล่าง สำหรับต้นแบบโครงกระดูกของร่างกาย

สำหรับอุปกรณ์ต้นแบบนี้เราทำการติดตั้งอุปกรณ์ Module ในตำแหน่งของ DOF ที่สำคัญหลักๆคือ ส่วนของศีรษะ, แขนทั้งสองข้าง, ตะโพกและขาทั้งสองข้างรวมทั้งสิ้น 27 DOF จาก 38 DOF ดังแสดงในรูปที่ 2 เนื่องจากอุปกรณ์ต้นแบบมีขนาดเล็ก อย่างไรก็ตามเราสามารถติดตั้งอุปกรณ์ Module ได้ครบทุกส่วนเมื่อถูกนำไปสร้างและใช้งานจริงต่อไปในอนาคต ดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบตำแหน่งของ DOF และแกนหมุนของแต่ละ DOF ในทุกส่วนของร่างกายของต้นแบบ(ขวา)กับตำแหน่ง DOF จากรูปที่ 2 (ซ้าย)

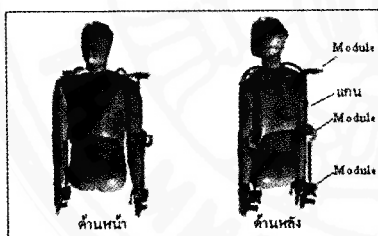


รูปที่ 6 จำนวน DOF ของต้นแบบโครงกระดูกของร่างกาย

ในส่วนลำตัวช่วงล่างจำเป็นต้องบันทึกค่าตำแหน่งการเคลื่อนที่ในพิกัด x,y,z เพื่อใช้แสดงตำแหน่งการเคลื่อนที่ของส่วนลำตัวช่วงล่าง การบันทึกค่าทำได้โดยวิธีการนำแกน 2 แกนที่มีขนาดความยาวค่าหนึ่งมาเชื่อมต่อกันและนำอุปกรณ์ Sensor ไปติดตั้งตามจุดหมุนต่างๆของแกน นำปลายข้างหนึ่งไปยึดติด

ตรงบริเวณตะโพกของส่วนลำตัวช่วงล่างหรือตำแหน่ง A ในรูปที่ 5 และปลายอีกข้างหนึ่งถูกยึดอยู่กับที่ เมื่ออุปกรณ์มีการเคลื่อนที่ เราจะนำค่าที่ได้จากอุปกรณ์ Sensor ที่ติดตั้งอยู่มากำหนดหา ค่าที่ตำแหน่งปลายของแกนที่ยึดติดกับอุปกรณ์จะได้ค่าในแนว แกน x,y,z ที่เป็นค่าตำแหน่งการเคลื่อนที่ของตัวละครและแสดง ภาพการเคลื่อนไหวสู่จอภาพต่อไป

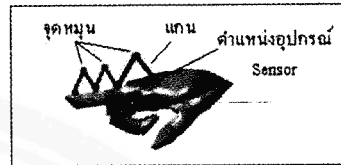
3.2 ต้นแบบโครงกระดูกแขนและนิ้วมือ การออกแบบต้นแบบนี้จะใช้ติดตั้งบนมือของนักแสดงเพื่ออำนวยความสะดวกในการกำหนดท่าทาง โครงสร้างการเชื่อมต่อแต่ละ Module คล้ายคลึงกับต้นแบบโครงกระดูกของร่างกายเฉพาะ ส่วนลำตัวช่วงบนดังที่กล่าวข้างต้น แต่รูปแบบการเชื่อมต่อแต่ละ Module จะแตกต่างกัน เนื่องจากต้องใช้แกนที่มีความยาวเพียงพอให้ผู้สวมใส่ และการติดตั้ง Module ก็จะต้องอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม โดยอุปกรณ์ดังกล่าวจะต้องไม่เป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนไหวของผู้สวมใส่ ดังรูปที่ 7 แสดงแนวคิดในการออกแบบ อุปกรณ์ต้นแบบโครงกระดูกเฉพาะในส่วนของแขน จากรูปแสดง ถึงตำแหน่งของ Module และแสดงโครงสร้างการติดตั้ง โดยใช้ แกนเชื่อมต่อแต่ละ Module เข้าด้วยกัน



รูปที่ 7 ตำแหน่งของ Module สำหรับต้นแบบโครงกระดูกแขน

ในส่วนของนิ้วมือนั้นได้สร้างชุดถุงมือเฉพาะสำหรับจับ การเคลื่อนไหวนิ้วมือทุกนิ้ว โดยอ้างอิงตำแหน่งและจำนวน DOF จากรูปแบบสรีระ(anatomy)ของร่างกายคนดังรูปที่ 3 อุปกรณ์ Sensor ที่ใช้มีลักษณะที่แตกต่างจาก Module ที่กล่าวไว้ข้างต้น โดยใช้ Potentiometer ที่มีขนาดเล็กเพียงพอในการติดตั้ง ดังแสดงในรูปที่ 8 ซึ่งแสดงแนวคิดการติดตั้งอุปกรณ์ Sensor ใน ส่วนของนิ้วมือ จากแนวคิดนี้จะสามารถติดตั้งอุปกรณ์ Sensor สำหรับบันทึกการเคลื่อนไหวได้ทั้งสิ้น 16 DOF จาก 20 DOF ในรูปที่ 3 เนื่องจากบริเวณปลายนิ้วทั้ง 4 เราไม่สามารถติดตั้ง อุปกรณ์ Sensor ได้ตามต้องการ สำหรับ 3 DOF ที่ใช้ควบคุม การหมุนของข้อมือจะถูกนำไปใช้ร่วมกับส่วนของโครงกระดูก

แขน ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องรับค่า 3 ค่าที่ใช้ควบคุมการหมุนของ ข้อมือ

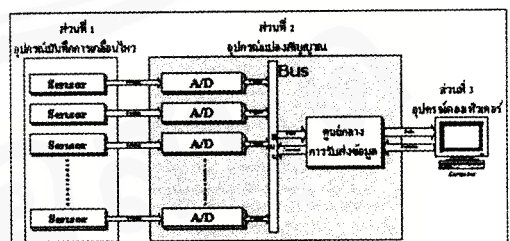


รูปที่ 8 รูปแบบการบันทึกการเคลื่อนไหวในส่วนของนิ้วมือ

ผลลัพธ์ที่ได้จากอุปกรณ์บันทึกการเคลื่อนไหวทั้งต้นแบบโครงกระดูกของร่างกาย และ ต้นแบบโครงกระดูกแขน และนิ้วมือ ดังที่กล่าวข้างต้นคือ ขณะที่ทำการเคลื่อนไหวอุปกรณ์ เหล่านี้ Sensor ทุกตัวจะส่งข้อมูลการเคลื่อนไหวในรูปของแรงดันไฟฟ้าหรือสัญญาณ analog ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงขนาดของมุม ที่หมุนไปของแต่ละมุมหมุน ค่าเหล่านี้จะเป็นค่าที่ใช้แสดงถึง ลักษณะท่าทางต่างๆของอุปกรณ์ทั้งสองว่าลักษณะท่าทางการ เคลื่อนไหวอย่างไร จากนั้นข้อมูลเหล่านี้จะถูกส่งไปยังอุปกรณ์ แปลงสัญญาณเพื่อแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่คอมพิวเตอร์ สามารถเข้าใจได้ ต่อไป

4. การออกแบบอุปกรณ์แปลงสัญญาณ

อุปกรณ์แปลงสัญญาณ มีหน้าที่ในการแปลงข้อมูลการ เคลื่อนไหวที่ได้จากต้นแบบโครงกระดูกของร่างกาย และ ต้นแบบโครงกระดูกแขนและนิ้วมือ ดังที่กล่าวในหัวข้อ 3 ให้อยู่ใน รูปของสัญญาณ digital และส่งไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อ ประมวลผล วิธีการทำงานของอุปกรณ์แปลงสัญญาณ ดังแสดง ในรูปที่ 9



รูปที่ 9 การทำงานของอุปกรณ์แปลงสัญญาณ

การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ต้นแบบโครงกระดูกของ ร่างกายและต้นแบบโครงกระดูกแขนและนิ้วมือ กับ อุปกรณ์

แปลงสัญญาณ ทำได้โดยการเชื่อมต่อสายสัญญาณจาก Module ต่างๆ(หรือ อุปกรณ์ Sensor) ที่ถูกติดตั้งอยู่บนอุปกรณ์ต้นแบบ เชื่อมต่อเข้ากับ **A/D** แต่ละชุดที่อยู่ภายในอุปกรณ์แปลงสัญญาณโดยตรง สัญญาณที่ได้จาก Module ต่างๆจะเป็น สัญญาณ analog ซึ่งจะถูกแปลงเป็นสัญญาณ digital ขนาด 8 บิต ด้วย **A/D** ที่ใช้ IC 0804 ในการแปลงสัญญาณ

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบให้ในแต่ละ **A/D** มีรหัสประจำตัวของตัวเองขนาด 8 บิต ที่ไม่ซ้ำกับ **A/D** ตัวอื่นๆ ดังนั้น **A/D** จะต้องใช้เส้นทางการเชื่อมต่อกับ **ส่วนศูนย์กลางการรับส่งข้อมูล** จำนวน 2 เส้นทาง เส้นทางละ 8 บิต โดยเส้นทางหนึ่งใช้สำหรับรับข้อมูลรหัสประจำตัวที่ส่งมาจากเครื่องคอมพิวเตอร์ ใช้ในการเปรียบเทียบกับรหัสประจำตัวของตัวเอง และอีกเส้นทางหนึ่งใช้สำหรับส่งข้อมูลการเคลื่อนไหวที่แปลงเป็น digital ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ การสื่อสารนี้จะใช้เส้นทาง Bus ในการเชื่อมต่อ ซึ่งจะทำให้เราสามารถเชื่อมต่อ **A/D** ได้หลายชุดพร้อมๆกัน บนเส้นทาง Bus เดียวกัน เนื่องจากแต่ละ **A/D** มีรหัสประจำตัวของ

เส้นทาง Bus ที่ใช้ติดต่อระหว่าง**ส่วนศูนย์กลางการรับส่งข้อมูล** กับ **A/D** แต่ละชุด ประกอบด้วย Bus หรือเส้นทางเดินของสัญญาณ 2 เส้นทาง แต่ละเส้นทางมีขนาด 8 บิต เส้นทางหนึ่งสำหรับข้อมูลรหัสประจำตัวของ **A/D** และอีกเส้นทางหนึ่งสำหรับข้อมูลการเคลื่อนไหวจาก **A/D**

อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็น**ส่วนศูนย์กลางการรับส่งข้อมูล** คือ Card IC8255 ที่ใช้ติดต่อสื่อสารกับเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยเชื่อมต่อกับ Mainboard ของเครื่องคอมพิวเตอร์โดยตรง **ส่วนศูนย์กลางการรับส่งข้อมูล** นี้จะมีช่องสัญญาณขนาด 8 บิต จำนวน 2 ช่อง ช่องหนึ่งจะถูกใช้สำหรับส่งข้อมูลรหัสประจำตัวจากเครื่องคอมพิวเตอร์ไปยัง **A/D** ขนาด 8 บิต และ อีกช่องหนึ่งใช้รับข้อมูลการเคลื่อนไหวจาก **A/D** ขนาด 8 บิต ผ่านเส้นทาง Bus เช่นกัน

เมื่อมีการทำงานเครื่องคอมพิวเตอร์จะส่งรหัสประจำตัวค่าหนึ่งผ่านมายัง**ส่วนศูนย์กลางการรับส่งข้อมูล** ซึ่งมีหน้าที่ส่งข้อมูลดังกล่าวกระจายไปยัง **A/D** ทุกตัวโดยใช้เส้นทางสำหรับส่งข้อมูลรหัสประจำตัวของ Bus ถ้ารหัสดังกล่าวมีค่าตรงกับ **A/D** ตัวใด **A/D** ตัวนั้นจะเริ่มทำงานและส่งข้อมูลการเคลื่อนไหวในรูป digital กลับไปยัง**ส่วนศูนย์กลางการรับส่งข้อมูล** และส่ง

ผ่านมายังเครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งจะทำการประมวลผลและเก็บบันทึกข้อมูลดังกล่าว ควบคู่กับรหัสประจำตัวของ **A/D** ตัวนั้น จากนั้นเครื่องคอมพิวเตอร์จะเริ่มทำงานเช่นนี้ซ้ำอีก โดยการส่งรหัสประจำตัวค่าใหม่มายัง**ส่วนศูนย์กลางการรับส่งข้อมูล** ซึ่งจะทำให้การกระจายรหัสดังกล่าวไปยัง **A/D** ทุกตัวต่อไป ระบบจะทำงานนี้จนกระทั่งได้ข้อมูลจาก **A/D** ครบทุกตัวพร้อมทั้งทำการบันทึกข้อมูลจาก **A/D** ทุกตัวลงในคอมพิวเตอร์ในรูปของข้อมูลการเคลื่อนไหว 1 เฟรม ด้วยใช้**โปรแกรมบันทึกการเคลื่อนไหว**

จากคุณสมบัติของ**อุปกรณ์แปลงสัญญาณ**ดังกล่าวมาจะเห็นว่าเป็นการรับส่งข้อมูลในรูปแบบของสัญญาณ digital 8 บิต แบบขนานกัน ดังนั้นจึงทำให้ระบบดังกล่าวมีความเร็วในการรับส่งข้อมูล ส่งผลให้เราสามารถบันทึกการเคลื่อนไหวได้ด้วย ความถี่ที่สูง สามารถเก็บรายละเอียดของภาพการเคลื่อนไหวได้ดี

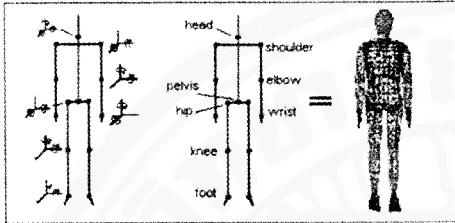
สำหรับ **A/D** แต่ละชุดซึ่งมีรหัสประจำตัวของตัวเองขนาด 8 บิต ประกอบกับการส่งข้อมูลผ่านเส้นทาง Bus ร่วมกันภายใน ทำให้เราสามารถนำ **A/D** จำนวนถึง 256 ชุดมาเชื่อมต่อบนเส้นทาง Bus ได้ในเวลาเดียวกัน นับเป็นข้อดีของระบบบันทึกการเคลื่อนไหวที่สามารถรองรับอุปกรณ์ Sensor ได้จำนวนมาก ทำให้เราสามารถบันทึกการเคลื่อนไหวจากนักแสดงได้มากกว่า 1 คนขึ้นไปในเวลาเดียวกัน หรือสามารถบันทึกการเคลื่อนไหวในส่วนร่างกายทั้งหมดรวมถึงการเคลื่อนไหวในส่วนของนิ้วมือได้ในเวลาเดียวกัน เป็นต้น

5. การออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ มีหน้าที่ในการติดต่อสื่อสารกับ**อุปกรณ์แปลงสัญญาณ**เพื่อนำข้อมูลการเคลื่อนไหวที่ได้จาก**อุปกรณ์แปลงสัญญาณ** มาแสดงเป็นภาพการเคลื่อนไหวของตัวละคร 3 มิติแบบ Real-time พร้อมทั้งบันทึกข้อมูลการเคลื่อนไหวลงในคอมพิวเตอร์ เพื่อนำข้อมูลการเคลื่อนไหวเหล่านั้นมาปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้ได้การเคลื่อนไหวใหม่

วิธีการนำข้อมูลการเคลื่อนไหวที่บันทึกได้ไปควบคุมการเคลื่อนไหวส่วนต่างๆของตัวละครนั้น ก่อนอื่นจะต้องกำหนดลักษณะโครงสร้างการเชื่อมต่อแต่ละส่วนให้กับตัวละครในคอมพิวเตอร์ให้มีลักษณะโครงเหมือนกับอุปกรณ์บันทึกการเคลื่อนไหว ดังแสดงในรูปที่ 10 รูปด้านซ้าย แสดงตำแหน่งและ

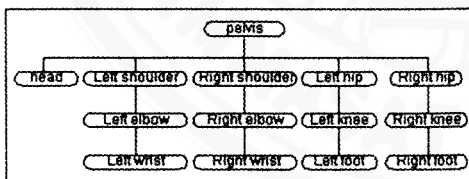
จำนวนแกนหมุนในแต่ละข้อต่อของอุปกรณ์ต้นแบบ รูปกลาง แสดงข้อต่อแต่ละจุดและลักษณะโครงสร้างการเชื่อมต่อในแต่ละส่วนของร่างกายเพื่อใช้ควบคุมการเคลื่อนไหวของตัวละครในคอมพิวเตอร์ที่มีลักษณะโครงสร้างของข้อต่อต่างๆเช่นเดียวกับอุปกรณ์บันทึกการเคลื่อนไหว ดังแสดงในรูปขวามือ



รูปที่ 10 ลักษณะโครงสร้างการเชื่อมต่อแต่ละส่วนของตัวละคร

แกนต่างๆของต้นแบบโครงสร้างร่างกาย กำหนดโดยใช้กฎมือขวา ลูกศรที่อยู่บนแกนแสดงถึงการรับค่ามุมที่กำกับแกนหลักแต่ละแกน ตัวอย่างเช่นในส่วนของหัวไหล่(Shoulder) มี 2 DOF โดยสามารถหมุนในแนวแกน x และแกน z เป็นต้น

การเชื่อมต่อในแต่ละส่วนของร่างกาย มีลักษณะการเชื่อมต่อเป็นแบบลูกโซ่ โดยทั้งหมดจะอยู่ภายใต้การเคลื่อนไหวของส่วน pelvis ซึ่งใช้แสดงการเคลื่อนไหวของร่างกายโดยรวม ประกอบด้วย 6 DOF คือ ตำแหน่ง 3 DOF และทิศทางการหมุนอีก 3 DOF โครงสร้างการเชื่อมต่อในแต่ละส่วนสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 แสดงโครงสร้างการเชื่อมต่อส่วนต่างๆของร่างกาย

สำหรับในส่วนของอุปกรณ์ต้นแบบโครงกระดูกแขนและนิ้วมือจะมีลักษณะโครงสร้างและแกนหมุนเช่นเดียวกันกับที่กล่าวข้างต้นทุกประการ โดยตำแหน่งและมุมหมุนอ้างอิงได้ในรูปที่ 3 และความสัมพันธ์ในส่วนต่างๆ ก็มีลักษณะคล้ายคลึงกับโครงสร้างของร่างกาย

ข้อมูลการเคลื่อนไหวที่จะทำการบันทึกจำเป็นที่เราต้องกำหนดรูปแบบการจัดเก็บ (format) เพื่อให้อยู่ในรูปแบบที่เป็น

มาตรฐานเดียวกัน รูปที่ 12 แสดงตัวอย่างรูปแบบการจัดเก็บข้อมูลที่บันทึกได้

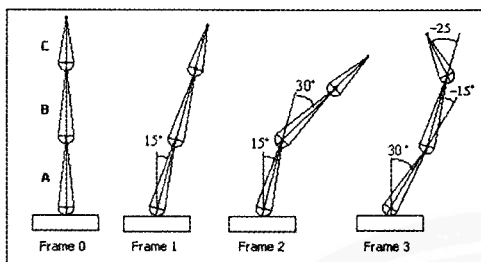
	Head			Left shoulder		Left elbow		Left wrist		Right shoulder	
frame 0	1	2	3	1	2	1	2	1	2	1	2
frame 1	20	3.2	5.3	3.2	5.3	2.5	10.1	0	1.3	-3.2	5.3
frame 2	19.5	10.5	-1.2	10.5	5.3	2.5	20.7	0	1.0	-10.5	5.3
frame 3	6.5	20.4	5.3	20.4	5.3	2.5	30.8	0	4.5	-4.4	5.3
frame 4	-52	60.6	5.3	60.6	5.3	2.5	60.4	0	10.2	17.2	5.3

รูปที่ 12 แสดงรูปแบบการจัดเก็บของข้อมูลการเคลื่อนไหว

จากรูป โปรแกรมจะทำการบันทึกข้อมูลการเคลื่อนไหวที่ได้จากแต่ละ Module โดยใช้หน่วยองศาในการบันทึกและบันทึกเรียงตามลำดับของจุดหมุนที่เรากำหนดขึ้น เช่น บันทึกเริ่มจาก ส่วนของ Head ซึ่งประกอบด้วย 3 DOF คือ ค่ามุมในแนวแกน x แกน y และแกน z จากนั้นบันทึกในส่วนของหัวไหล่ซ้าย(Left shoulder) ซึ่งประกอบด้วย 2 DOF คือค่ามุมในแนวแกน x และ z ทำเช่นนี้ไปตามลำดับจนกระทั่งบันทึกครบทุกส่วนของจุดหมุนซึ่งสำหรับอุปกรณ์ต้นแบบโครงกระดูกของร่างกายจะมีทั้งหมด 27 DOF และรวมถึงตำแหน่งและทิศทางในส่วน of pelvis อีก 6 DOF ข้อมูลที่ได้ในแต่ละรอบจะถูกรวบรวมในลักษณะที่เป็นแฟ้มตามช่วงเวลาที่เราทำการบันทึกข้อมูล ซึ่งโดยมาตรฐานจะบันทึกด้วยอัตราไม่ต่ำกว่า 30 เฟรมต่อวินาที

การควบคุมการเคลื่อนไหวของตัวละคร เริ่มจากการกำหนดลักษณะท่าทางในสภาวะเริ่มต้นให้กับตัวละครในคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีลักษณะท่าทางดังรูปที่ 10 แสดงลักษณะท่าทางในสภาวะเริ่มต้นของตัวละคร โดยทุกๆส่วนจะมีลักษณะเหยียดตรงหรือตัวละครแสดงลักษณะท่าทางการยืนตัวตรง และก่อนการบันทึกข้อมูลการเคลื่อนไหว เราจำเป็นต้องจัดวางอุปกรณ์บันทึกการเคลื่อนไหวให้มีลักษณะท่าทางเช่นเดียวกับตัวละครในคอมพิวเตอร์ก่อนทำการบันทึก ส่วนค่าของข้อมูลที่บันทึกได้จะเป็นค่าที่หมุนไปนับจากสภาวะเริ่มต้น

ตัวอย่างการนำข้อมูลที่บันทึกได้มาควบคุมการเคลื่อนไหวของแขนตัวละครทำได้โดยการกำหนดให้โครงสร้างแขนของต้นแบบที่เชื่อมต่อกันด้วยแกนสามแกน นั่นคือประกอบด้วยแกน A แกน B และแกน C โดยทั้งสามแกนถูกเชื่อมต่อกันในลักษณะลูกโซ่ตามลำดับ ในสภาวะเริ่มต้นกำหนดให้แกนทั้ง 3 มีอยู่ในสภาวะที่เหยียดตรงดังแสดงในรูปที่ 13 ด้านซ้ายสุด (frame 0)



รูปที่ 13 แสดงรูปแบบการเคลื่อนไหวของแขนกล

สมมติให้ข้อมูลการเคลื่อนไหวที่บันทึก ณ. frame 1 มีค่าดังนี้ มุมของแกน $A = 15^\circ$, $B = 0^\circ$ และ $C = 0^\circ$ เมื่อนำข้อมูลเหล่านี้ไปควบคุมการเคลื่อนไหวของแขนกลแล้วจะได้ดังรูปที่ 13 ณ. frame 1 จะเห็นว่า แกน A จะถูกหมุนไปด้วยมุม 15° ในทิศทางที่เป็นบวก ขณะเดียวกันทั้งแกน B และแกน C มีค่าของมุมเป็นศูนย์นั้นมีการหมุนตามแกน A ไปด้วย สาเหตุเพราะว่าเรากำหนดโครงสร้างให้แกนทั้ง 3 มีการเชื่อมต่อในลักษณะของลูกโซ่ตามลำดับ ดังนั้นการเคลื่อนไหวของแกน A มีผลต่อการเคลื่อนไหวของแกน B ส่วนการเคลื่อนไหวของแกน A และ B มีผลต่อการเคลื่อนไหวของแกน C เป็นต้น

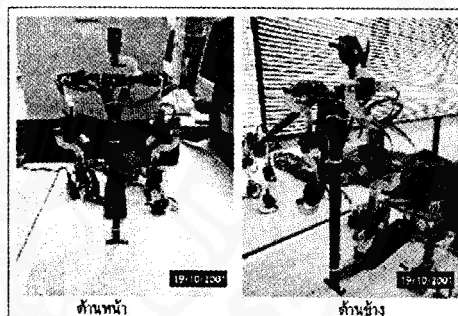
ถ้าข้อมูลการเคลื่อนไหว ณ. frame 2 มีค่าดังนี้ แกน $A = 15^\circ$, แกน $B = 30^\circ$, แกน $C = 0^\circ$ ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 13 ณ. frame 2 จะเห็นได้ว่าทั้งแกน B และ C หมุนตามแกน A ด้วยมุมขนาด 15° จากนั้นแกน B ก็ถูกหมุนนับจากตำแหน่งนี้ไปอีก 30° โดยแกน C หมุนตามแกน B ด้วย สำหรับ ณ. frame 3 กำหนดให้ แกน $A = 30^\circ$, แกน $B = -15^\circ$, แกน $C = -25^\circ$ ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 13 ณ. frame 3 ด้วยหลักการเช่นเดียวกับที่อธิบายในขั้นต้น

นอกจากการที่เราสามารถแสดงภาพการเคลื่อนไหวของตัวละครแล้ว เรายังสามารถปรับปรุงแก้ไขการเคลื่อนไหวของตัวละครได้ด้วยโปรแกรม Motion Editing ซึ่งเป็นเทคนิคสำหรับปรับปรุงแก้ไขข้อมูลการเคลื่อนไหวของตัวละครที่มีอยู่เดิม เพื่อให้ได้การเคลื่อนไหวตามที่เรต้องการ ด้วยรูปแบบการปรับแต่งการเคลื่อนไหวที่สามารถโต้ตอบกับผู้ใช้งานได้ทันที "Lee et al." [2] ได้เสนอเทคนิคในการปรับแต่งการเคลื่อนไหวที่มีอยู่เดิม เพื่อให้ได้การเคลื่อนไหวใหม่ตามที่ต้องการ โดยใช้ข้อมูลการเคลื่อนไหวที่บันทึกได้ มาสร้างเงื่อนไขหรือข้อจำกัดด้วยการกำหนดลักษณะท่าทางของตัวละครตามต้องการ ร่วมกับการใช้ curve fitting technique และ Inverse Kinematics ใน

การคำนวณหาตำแหน่งท่าทางของตัวละครภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดไว้ในแต่ละเฟรม [16] โดยวิธี numerical optimization [11] ช่วยในการหาคำตอบ การใช้ curve fitting technique [10][12][13][14] จะทำให้การเคลื่อนไหวในแต่ละ เฟรมมีความกลมกลืนกับเฟรมที่อยู่รอบข้าง [5][9] ด้วยเทคนิคเหล่านี้ทำให้เราสามารถปรับเปลี่ยนการเคลื่อนไหวได้ตามต้องการและสามารถโต้ตอบกับผู้ใช้ได้ทันที

6. ผลการออกแบบและสร้าง

6.1 อุปกรณ์บันทึกการเคลื่อนไหว(ส่วนที่ 1) ผลการออกแบบอุปกรณ์บันทึกการเคลื่อนไหวทั้งในส่วนอุปกรณ์ต้นแบบโครงกระดูกของร่างกาย และ อุปกรณ์ต้นแบบโครงกระดูกแขนและนิ้วมือ ตามแนวคิดที่ได้นำเสนอในหัวข้อ 3 รูปที่ 14 และ 15 แสดงอุปกรณ์ต้นแบบโครงกระดูกของร่างกายที่ถูกสร้างขึ้นทั้งส่วนลำตัวช่วงบนและส่วนลำตัวช่วงล่าง ตามลำดับ



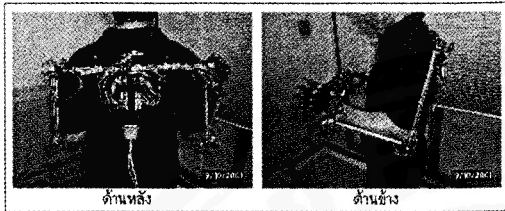
รูปที่ 14 ต้นแบบโครงกระดูกของร่างกายในส่วนลำตัวช่วงบน



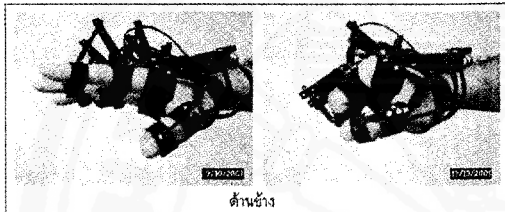
รูปที่ 15 ต้นแบบโครงกระดูกของร่างกายในส่วนลำตัวช่วงล่าง

การกำหนดลักษณะท่าทางของอุปกรณ์ต้นแบบโครงกระดูกของร่างกายทั้งส่วนลำตัวช่วงบนและลำตัวช่วงล่างดังแสดงในรูปที่ 25 และ 26

รูปที่ 16 และ 17 แสดงอุปกรณ์ต้นแบบโครงกระดูกแขนและนิ้วมือที่ถูกสร้างในรูปของชุดสวมใส่สำหรับโครงกระดูกแขนและนิ้วมือสำหรับโครงกระดูกในส่วนของนิ้วมือ



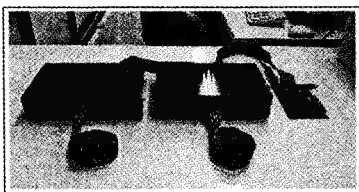
รูปที่ 16 ต้นแบบโครงกระดูกแขนและนิ้วมือ



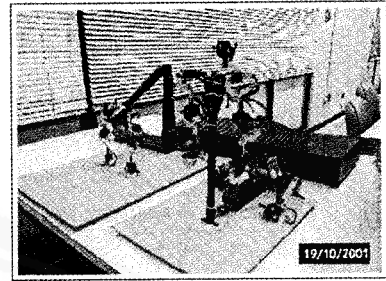
รูปที่ 17 อกมือต้นแบบโครงกระดูกในส่วนของนิ้วมือ

การกำหนดลักษณะท่าทางของอุปกรณ์ต้นแบบโครงกระดูกแขนและนิ้วมือได้ถูกแสดงในรูปที่ 27

6.2 อุปกรณ์แปลงสัญญาณ(ส่วนที่ 2) ผลการออกแบบอุปกรณ์แปลงสัญญาณ ตามแนวคิดที่ได้นำเสนอในหัวข้อ 4 ดังแสดงในรูปที่ 18 กล้องที่แสดงเป็นกล่องอุปกรณ์แปลงสัญญาณในภาพรวม โดยปลายสายทั้งสองที่ขุดอยู่ทางด้านหน้ากล่อง ใช้สำหรับเชื่อมต่อกับอุปกรณ์บันทึกการเคลื่อนไหวทั้งต้นแบบโครงกระดูกของร่างกาย และ ต้นแบบโครงกระดูกแขนและนิ้วมือ ส่วน Card ที่ทางด้านขวามือของรูปคือ ศูนย์กลางการรับส่งข้อมูล(IC 8255)ซึ่งจะถูกติดตั้งอยู่ในคอมพิวเตอร์ ภายในกล่องทั้ง 2 ประกอบด้วยชุด A/D จำนวนทั้งหมด 32 ชุด โดยทั้ง 2 กล่องถูกเชื่อมกัน โดยใช้เส้นทาง Bus เส้นเดียวกัน ในแต่ละ A/D จะมีรหัสประจำตัวขนาด 8 บิต รูปที่ 19 แสดงการนำอุปกรณ์ต่างๆมาเชื่อมต่อกัน



รูปที่ 18 ภาพรวมของอุปกรณ์แปลงสัญญาณ



รูปที่ 19 แสดงการนำอุปกรณ์ทั้งหมดมาเชื่อมต่อกัน

6.3 โปรแกรมคอมพิวเตอร์(ส่วนที่ 3) จากวิธีการในหัวข้อ 5 เราสามารถนำข้อมูลที่ไดจากอุปกรณ์บันทึกการเคลื่อนไหวมาควบคุมตัวละคร 3 มิติที่สร้างจากคอมพิวเตอร์ได้แบบ Real-time โดยโปรแกรมบันทึกการเคลื่อนไหวสามารถแสดงเป็นภาพการเคลื่อนไหวของตัวละครออกจากจอภาพ ขณะเดียวกันโปรแกรมจะทำการบันทึกข้อมูลการเคลื่อนไหวไปพร้อมๆกัน รูปแบบของโปรแกรมที่สร้างขึ้นแสดงดังรูปที่ 20 แสดงภาพการเคลื่อนไหวของตัวละครที่ได้จากอุปกรณ์ต้นแบบโครงกระดูกของร่างกาย

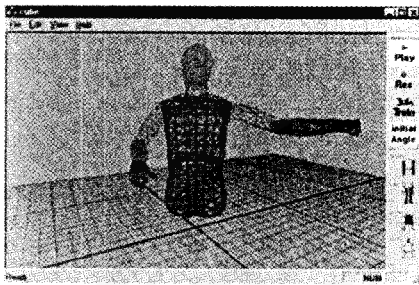


รูปที่ 20 รูปแบบโปรแกรมการบันทึกการเคลื่อนไหว

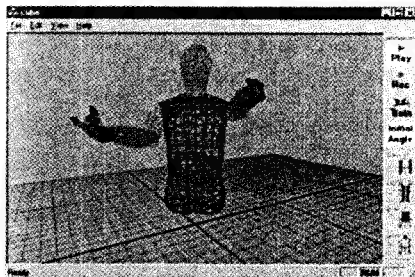
โปรแกรมสามารถแสดงภาพการเคลื่อนไหวของตัวละครดังรูป พร้อมทั้งบันทึกข้อมูลการเคลื่อนไหวให้อยู่ในรูปแบบ format ที่กำหนดไว้ การบันทึกการเคลื่อนไหวเราสามารถกำหนดส่วนต่างๆที่เราต้องการบันทึกได้ เช่น ต้องการบันทึกการเคลื่อนไหวเฉพาะแขนทั้งสองข้าง หรือบันทึกการเคลื่อนไหวเฉพาะขาทั้งสองข้าง เป็นต้น และโปรแกรมจะนำการเคลื่อนไหวทั้งหมดมารวมเป็นการเคลื่อนไหวชุดเดียวกัน และแสดงการเคลื่อนไหวของตัวละครออกจากจอภาพดังรูป

สำหรับการแสดงภาพการเคลื่อนไหวของตัวละครที่ได้จากอุปกรณ์ต้นแบบโครงกระดูกแขนและนิ้วมือแสดงในรูปที่ 21

และ 22 ที่แสดงการเคลื่อนไหวในส่วนของแขนและนิ้วมือในลักษณะท่าทางที่แตกต่างกัน



รูปที่ 21 แสดงภาพการเคลื่อนไหวในส่วนของแขนและนิ้วมือ



รูปที่ 22 แสดงการเคลื่อนไหวในลักษณะท่าทางต่างๆ

การปรับปรุงแก้ไขข้อมูลการเคลื่อนไหวที่บันทึกได้จากโปรแกรมบันทึกการเคลื่อนไหว ในกรณีที่ต้องการปรับเปลี่ยนการเคลื่อนไหวให้ต่างจากเดิมเล็กน้อยสามารถทำได้ด้วยโปรแกรม Motion Editing เพื่อปรับให้ตัวละครมีลักษณะท่าทางตามที่เราต้องการ ดังตัวอย่างในรูปที่ 23 แสดงลำดับการเคลื่อนไหวของข้อมูลที่บันทึกได้จากอุปกรณ์ต้นแบบด้วยโปรแกรมบันทึกการเคลื่อนไหว



รูปที่ 23 แสดงท่าทางการเดินที่ได้จากการบันทึกด้วยอุปกรณ์

จากข้อมูลที่เราสามารถปรับปรุงแก้ไขการเคลื่อนไหวของตัวละครได้โดยใช้เมาส์กำหนดส่วนที่ต้องการปรับเปลี่ยนและทำการลากเมาส์ไปในทิศทางที่ต้องการ ขณะเดียวกันโปรแกรมจะคำนวณการเคลื่อนไหวของส่วนต่างๆที่เกี่ยวข้องโดยอัตโนมัติ เพื่อให้ได้การเคลื่อนไหวใหม่ตามที่เราต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 24



รูปที่ 24 แสดงการปรับแก้ตำแหน่งลำตัวและขาของตัวละคร

7. สรุปผลการวิจัย

7.1 อุปกรณ์บันทึกการเคลื่อนไหว

ต้นแบบโครงกระดูกของร่างกายประกอบด้วยมุม

อิสระ(degrees of freedom, DOF)ทั้งหมด 27 มุม อุปกรณ์ Sensor ที่ใช้สร้างคือ Potentiometer แกนหมุนสามารถหมุนได้ 300° สามารถบันทึกข้อมูลการเคลื่อนไหวของทั้งร่างกายและสามารถแสดงผลการเคลื่อนไหวแบบ Real-time

ต้นแบบโครงกระดูกแขนและนิ้วมือสามารถบันทึก

การเคลื่อนไหวในส่วนของแขนและนิ้วมือได้อย่างสะดวก โดยในส่วนของแขนประกอบด้วยมุมอิสระ(DOF)จำนวน 12 มุมและในส่วนของถุงมือแต่ละข้างประกอบด้วยมุมอิสระจำนวน 16 DOF การเคลื่อนไหวของตัวละครมีความสมจริง แต่ยังมีคลาดเคลื่อนในเรื่องตำแหน่งของอุปกรณ์ Sensor เนื่องจากไม่ได้อยู่ในตำแหน่งเดียวกันกับข้อต่อของโครงกระดูกจริงๆของมนุษย์ ทำให้การเคลื่อนไหวของตัวละครมีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงเล็กน้อย

7.2 อุปกรณ์แปลงสัญญาณ

อุปกรณ์แปลงสัญญาณสามารถแปลงสัญญาณ analog ให้เป็นสัญญาณ digital ขนาด 8 บิต จำนวน 32 ช่อง

สัญญาณ และเพิ่มขยายได้ถึง 256 ช่องสัญญาณ สามารถบันทึกการเคลื่อนไหวด้วยความเร็วอย่างน้อย 39 เฟรมต่อวินาที

7.3 โปรแกรมคอมพิวเตอร์

โปรแกรมที่ได้ออกแบบและสร้าง สามารถนำข้อมูลที่บ้านที่กได้มาแสดงเป็นภาพการเคลื่อนไหวของตัวละคร สามารถบันทึกข้อมูลการเคลื่อนไหวที่ได้จากอุปกรณ์ โดยถูกจัดเก็บในรูปแบบของ format ที่กำหนดไว้ และสามารถนำข้อมูลการเคลื่อนไหวที่ได้มาปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้ได้การเคลื่อนไหวใหม่ตามที่เรต้องการด้วยโปรแกรม Motion Editing

โปรแกรมบันทึกการเคลื่อนไหวถูกสร้างด้วยเครื่องมือ Visual C++ และ Library ของ OpenGL ส่วนโปรแกรม Motion Editing ถูกสร้างด้วยภาษา C++ ภายใต้ X-window/MOTIF และ Open Inventor ที่ใช้ในการสร้างภาพ animation 3 มิติ

8. ข้อเสนอแนะ

การสร้างอุปกรณ์บันทึกการเคลื่อนไหวจำเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณ์ Sensor ที่มีค่าสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงค่าในเชิงกลและค่าทางไฟฟ้าที่คงที่แบบเส้นตรง เพราะจะทำให้ข้อมูลการเคลื่อนไหวที่ได้จากอุปกรณ์ Sensor มีความถูกต้องตามการเคลื่อนไหวจริง

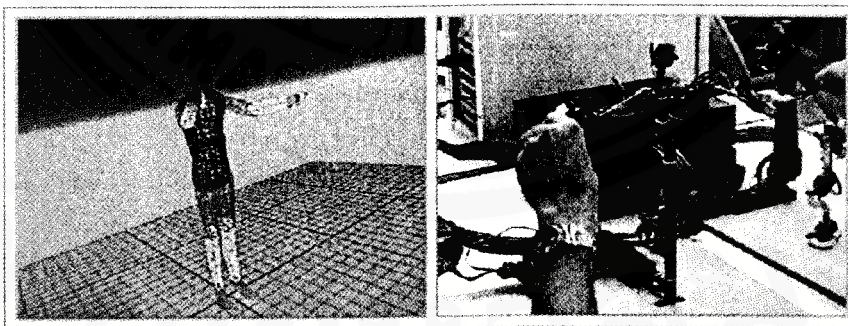
ข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์แปลงสัญญาณ เป็นข้อมูลในรูป digital 8 บิต (ตั้งแต่ระดับ 0 - 255) แทนการหมุนในแต่ละมุมหมุน ตั้งแต่ 0° ถึง 300° ดังนั้นข้อมูล 1 บิต แทนขนาดมุม 1.171875° เนื่องจากอุปกรณ์แปลงสัญญาณมีค่าความคลาดเคลื่อนเป็น ± 1 บิต LSB ส่งผลให้การเคลื่อนไหวของตัวละครไม่นุ่มนวลเพียงพอ จึงสามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ โดยใช้อุปกรณ์ที่สามารถแปลงข้อมูลในรูป digital ที่มีขนาดเป็น 12 บิต หรือมากกว่า หรืออาจจะเพิ่มส่วนที่ทำหน้าที่ Filter สัญญาณเป็นต้น

9. เอกสารอ้างอิง

[1] A. Menache, Understanding Motion Capture for Computer Animation and Video Games, Morgan Kaufmann Publishers, pp. 1-36, 2000

- [2] J. Lee and S. Y. Shin, A hierarchical approach to interactive motion editing for human-like figures, Proceedings of SIGGRAPH 00, pp. 39-48, August 1999.
- [3] Charles Rose, Brian Guenter, Bobby Bodenheimer, and Michael Cohen, Efficient Generation of Motion Transitions using Spacetime Constraints, In Computer Graphics, Aug. 1996, pp. 147-154. Proceedings of SIGGRAPH 1996
- [4] Holden, E. J., Roy, G. G., and Owens, R. (1995), Adaptive Classification of Hand Movement, Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks, Vol. 3, pp. 1373-1378.
- [5] K. Shoemake, Animating rotation with quaternion curves, Computer Graphics (Proceedings of SIGGRAPH 85), pp. 19:245-254, 1985.
- [6] A. Bruderlin and L. Williams, Motion signal processing, Computer Graphics (Proceedings of SIGGRAPH 95), pp. 29:97-104, August 1995.
- [7] A. Witkin and Z. Popovic, Motion warping, Computer Graphics (Proceedings of SIGGRAPH 95), pp. 29:105-108, August 1995.
- [8] M. Gleicher, Retargetting motion to new characters, Computer Graphics (Proceedings of SIGGRAPH 98), pp. 32:33-42, July 1998.
- [9] M. J. Kim, M. S. Kim, and S. Y. Shin, A general construction scheme for unit quaternion curves with simple high order derivatives, Computer Graphics (Proceedings of SIGGRAPH 95), pp. 29:369-376, August 1995.
- [10] S. Lee, G. Wolberg, and S. Y. Shin, Scattered data interpolation with multilevel b-splines, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, pp. 3(3):228-244, 1997.

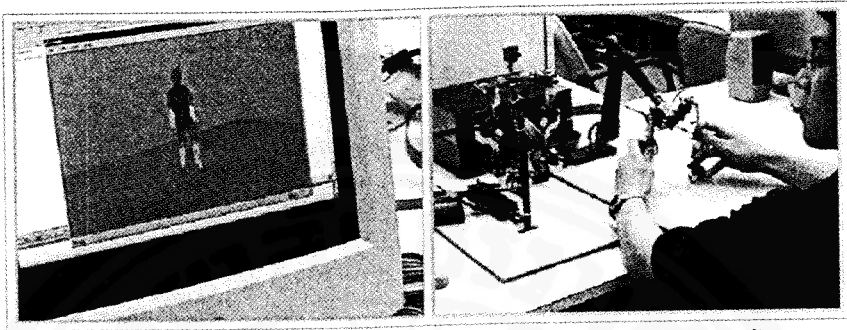
- [11] W. H. Press, Saul A. Teukolsky, W. T. Vetterling, and B. P. Flannery, Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing, Cambridge University Press, second edition, 1992.
- [12] R. H. Bartels, J. C. Beatty, and B. Barsky, An Introduction to Splines for Use in Computer Graphics and Geometric Modeling, Morgan Kaufmann, 1979.
- [13] D. R. Forshey and R. H. Bartels, Hierarchical B-spline refinement, Computer Graphics (Proceedings of SIGGRAPH 88), pp. 22(4):205-212, August 1988.
- [14] D. R. Forshey and R. H. Bartels, Surface fitting with hierarchical splines, ACM Transactions of Graphics, pp. 14(2):134-161, April 1995.
- [15] M. Gleicher, Motion editing with spacetime constraints, In Proceedings of Symposium on Interactive 3D Graphics, pp. 139-148, 1997.
- [16] J. Zhao and N. I. Badler, Inverse kinematics positioning using nonlinear programming for highly articulated figures, ACM Transactions on Graphics, pp. 13(4):313-336, 1994.
- [17] Zoran Popovic and Andrew Witkin. "Physically Based Motion Transformation." In Computer Graphics, Aug. 1999, pp. 11-20. Proceedings of SIGGRAPH 1999.
- [18] Munetoshi Unuma, Ken Anjo, and Ryoza Takeuchi. "Fourier Principles for Emotion-based Human Figure Animation." In Computer Graphics, Aug. 1995, pp. 91-96. Proceedings of SIGGRAPH 1995.
- [19] L. Herda, P. Fua, R. Plankers, R. Boulic and D. Thalmann, "Skeleton-Based Motion Capture for Robust Reconstruction of Human Motion" Computer Animation, IEEE press, May 2000.
- [20] David J. Sturman. "A brief history of motion capture for computer character animation." In Character Motion Systems, SIGGRAPH 94: Course 9. ACM SIGGRAPH, Addison-Wesley, 1994.



ภาพจากคอมพิวเตอร์

การกำหนดท่าทางของต้นแบบ

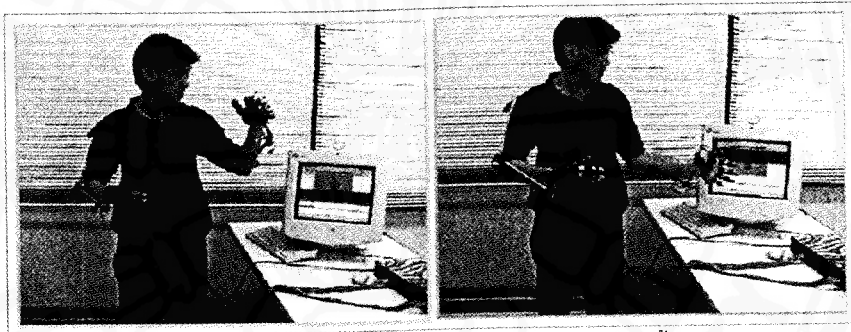
รูปที่ 25 แสดงการกำหนดท่าทางต้นแบบโครงกระดูกของร่างกายในส่วนลำตัวช่วงบน



ภาพจากคอมพิวเตอร์

การกำหนดท่าทางของต้นแบบ

รูปที่ 26 แสดงการกำหนดท่าทางต้นแบบโครงกระดูกของร่างกายในส่วนลำตัวช่วงล่าง



รูปที่ 27 แสดงการกำหนดท่าทางต้นแบบโครงกระดูกแขนและนิ้วมือ