เทคนิคการปรับเปลี่ยนเส้นโค้งสามมิติแบบเสมือนโดยใช้การจำลองวัตถุเชิงกายภาพเทียม

3D CURVE VIRTUAL MANIPULATION TECHNIQUE USING PSEUDO-PHYSICAL MODELING

ภัทวุธ พิชัยชาญเลิศ
PATHAWUT PICHAICHANLERT

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2550

KMITL-2007-IT-M-001-137

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เทคนิคการปรับเปลี่ยนเส้นโค้งสามมิติแบบเสมือน
โดยใช้การจำลองวัตถุเชิงกายภาพเทียม

3D CURVE VIRTUAL MANIPULATION TECHNIQUE
USING PSEUDO-PHYSICAL MODELING

T077951

ภัทวุธ พิชัยชาญเลิศ
PATHAWUT PICHAICHANLERT

เลขหมู่ 77951
เลขทะเบียน 12 ก.พ. 2551
วัน,เดือน,ปี

.b
.i

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2550

KMITL – 2007 – IT – M – 001 - 137

3D CURVE VIRTUAL MANIPULATION TECHNIQUE USING PSEUDO-PHYSICAL MODELING

PATHAWUT PICHAICHANLERT

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN INFORMATION TECHNOLOGY
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2007
KMITL – 2007 – IT – M – 001 - 137

COPYRIGHT 2007

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ เทคนิคการปรับเปลี่ยนเส้นโค้งสามมิติแบบเสมือนโดยใช้การจำลองวัตถุเชิงกายภาพเทียม

3D Curve Virtual Manipulation Technique Using Pseudo-Physical Modeling

ชื่อนักศึกษา นายภัทวุธ พิชัยชาญเลิศ

รหัสประจำตัว 45061542

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา เทคโนโลยีสารสนเทศ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.นพพร โชติกกำธร

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ชม	กิ้มปาน	
รศ.ดร.บุญวัฒน์	อัตชู	
รศ.ดร.นพพร	โชติกกำธร	
รศ.ดร.วรพจน์	กรีสุระเดช	
ผศ.ดร.ธนารัตน์	ชลิดาพงศ์	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ 25 ตุลาคม 2550 เวลา 09.00 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ ห้อง M 23 (ชั้นลอย) คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่......๒๕......**เดือน**......ธันวาคม......**พ.ศ.**......๒๕๕๐......

หัวข้อวิทยานิพนธ์	เทคนิคการปรับเปลี่ยนเส้นโค้งสามมิติแบบเสมือนโดยใช้การจำลองวัตถุเชิงกายภาพเทียม
นักศึกษา	นายภัทวุธ พิชัยชาญเลิศ
รหัสประจำตัว	45061542
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีสารสนเทศ
พ.ศ.	2550
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.นพพร โชติกกำธร

บทคัดย่อ

การจำลองเส้นโค้งสามมิติด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ (Parametric Curve) อาศัยการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ของรูปทรงพื้นฐาน ซึ่งต้องอาศัยทักษะที่แตกต่างจากการปั้นหรือปรับรูปทรงวัตถุจริงด้วยมือ ทำให้การออกแบบต้องอาศัยเวลาเรียนรู้ งานวิจัยนี้ได้นำเสนอเทคนิคการปรับเปลี่ยนรูปทรงของเส้นโค้ง 3 มิติ โดยวิธีการปรับเปลี่ยนโดยตรง (Direct Manipulation) ด้วยอุปกรณ์วีอาร์ ซึ่งในการปรับเปลี่ยนรูปทรงได้อาศัยการสร้างแบบจำลองของเส้นโค้งที่เปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งและทิศทางของมือผู้ใช้ และพารามิเตอร์ของเส้นโค้งที่สามารถกำหนดให้แตกต่างกันออกไปได้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอวิธีการจำลองวัตถุเชิงกายภาพเทียมเส้นโค้ง 3 มิติ ซึ่งอาศัยการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยาวกับความโค้งของเส้นโค้ง เป็นตัวกำหนดรูปร่างของเส้นโค้งเสมือน ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่าสามารถลดความซับซ้อนในการประมวลผลเมื่อเทียบกับวิธีการจำลองคุณสมบัติเชิงกายภาพ นอกจากนี้ เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นในการปรับแต่งเส้นโค้งให้มีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น ในงานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาวิธีการจำลองเส้นโค้งแบบ 3 ส่วนประกอบย่อย และได้ทำการทดลองเพื่อทดสอบความสามารถของแบบจำลองดังกล่าวในการสร้างเส้นโค้ง 3 มิติในรูปแบบต่าง ๆ โดยทำการประเมินด้วยการวัดความต่างเฉลี่ยตลอดเส้น

Thesis Title	3D Curve Virtual Manipulation Technique using Pseudo-Physical Modeling
Student	Mr. Pathawut Pichaichanlert
Student ID	45061542
Degree	Master of Science
Program	Information Technology
Year	2007
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Nopporn Chotikakamthorn

ABSTRACT

Modeling of 3D curves is normally based on parametric curves. The method requires that curve parameters are changed in manipulating a curve shape. The manipulation requires skill that is quite different from real-life object sculpturing or manipulating by human hands. This results in a steep learning curve. This thesis presents a 3D curve direct manipulation technique using a VR device. The shape of a 3D curve is defined based on user's hand location and orientation, as well as certain shape parameters. This thesis proposes a pseudo-physical simulation method for 3D curve manipulation. The technique uses a combination of arc-length and curvature in defining a virtual curve shape. In addition, to obtain greater flexibility in manipulating a curve shape, a 3-segment curve model was also developed. Experiments were performed with this 3-segment model to evaluate the ability of the model in creating 3-D curve with a variety of shapes. The evaluation was based on an average of shape difference throughout the entire curve.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยการให้คำปรึกษา และแนะนำแนวทางจาก รศ.ดร.นพพร โชติกกำธร ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับความอนุเคราะห์จากท่าน

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณบุคคลที่ได้มีส่วนร่วมให้ความช่วยเหลือผู้วิจัยในการดำเนินงานวิจัยนี้จนสำเร็จ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และ พี่น้อง ของผู้วิจัยที่ให้การสนับสนุน และช่วยเหลือในด้านต่างๆ อีกทั้งเป็นกำลังใจให้กับผู้วิจัยเสมอมา

ขอขอบคุณผู้ทำการทดลองทุกท่านที่อาสามาช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการทดลองต่างๆ รวมทั้ง เพื่อน พี่ และ น้องๆ นักศึกษา ณ ห้องปฏิบัติการ Multimedia and Virtual Research ที่คอยให้กำลังใจ และให้คำปรึกษาปัญหาด้วยดีตลอดมา

อนึ่ง งานวิจัยที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้นั้น ได้ปฏิบัติภายในห้องปฏิบัติการ Multimedia and Virtual Research ของสำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

คุณค่าและประโยชน์ที่พึงได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ภัทวุธ พิชัยชาญเลิศ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย........ I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ........ II

กิตติกรรมประกาศ........ III

สารบัญ........ IV

สารบัญตาราง........ VII

สารบัญรูป........ VIII

บทที่ 1 บทนำ........ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา........ 1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา........ 2

1.3 สมมติฐานของการศึกษา........ 2

1.4 ขอบเขตของการดำเนินงานวิจัย........ 2

1.5 ขั้นตอนการศึกษา........ 2

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ........ 3

1.7 โครงสร้างวิทยานิพนธ์........ 3

บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง........ 4

บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย........ 6

3.1 เส้นโค้งชนิดเบซิเยร์ (Bezier curve)........ 6

3.1.1. Curve control parameter mapping........ 7

3.1.2. การคำนวณหาความยาวของเส้นโค้งชนิดเบซิเยร์........ 8

3.1.3. การคำนวณความโค้งของเส้นโค้งชนิดเบซิเยร์........ 8

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2 ตรวจจับการชนกัน (Collision Detection).. 8

3.2.1. Line Segment-Sphere Intersection.. 9

3.2.2. Sphere-Sphere Intersection.. 10

3.3 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย... 10

3.3.1. ถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ (Cyber Glove)... 11

3.3.2. อุปกรณ์ระบุตำแหน่งแบบ 6 แกน (6 Degree of freedom Tracker)...... 11

บทที่ 4 เทคนิคการจำลองเชิงกายภาพ.. 13

4.1. การจำกัดทางกายภาพ (Physical constraints).. 13

4.2. การจำลองเชิงกายภาพเทียม (Pseudo-Physical Simulation)......................... 13

4.2.1 การจำลองเชิงกายภาพเทียมแบบส่วนประกอบย่อยเดียว (Single-segments Pseudo-Physical simulation).. 14

4.2.2 การจำลองเชิงกายภาพเทียมแบบหลายส่วนประกอบย่อย (Multi-segments Pseudo-Physical simulation).. 15

4.2.2.1 การสร้างโครงร่าง (Create Skeleton).. 15

4.2.2.2 การปรับเปลี่ยนโครงร่าง (Skeleton Manipulation)........................ 16

4.2.2.3 การแปลงโครงร่างกลับไปเป็นเส้นโค้งเบซิเยร์ (Skeleton Transform).. 18

บทที่ 5 ผลการทดลอง.. 20

5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด... 20

5.2 ผลการทดลอง.. 20

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.2.1 การทดลองเปรียบเทียบความแตกต่างที่เกิดขึ้นจากการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์........ 20

5.2.2 การเปรียบเทียบระยะเวลาในการประมวลผลระหว่างการจำลองเชิงกายภาพเทียม กับ การจำลองเชิงกายภาพ........ 22

5.2.3 การเปรียบเทียบความยากง่ายในการเรียนรู้การใช้งานของผู้ใช้งานระหว่างการใช้งานการจำลองเชิงกายภาพเทียมกับการปรับเปลี่ยนเส้นโค้งชนิดเบซิเยร์........ 23

5.2.4 การเปรียบเทียบความใกล้เคียงในการสร้างรูปที่กำหนดของผู้ใช้งานระหว่างการจำลองเชิงกายภาพเทียมกับการปรับเปลี่ยนเส้นโค้งชนิดเบซิเยร์........ 25

บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ........ 28

6.1 สรุปผลการทดลอง........ 28

6.2 ข้อเสนอแนะ........ 28

เอกสารอ้างอิง........ 30

ภาคผนวก........ 31

ภาคผนวก ก. บทความและผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์........ 32

ประวัติผู้เขียน........ 38

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

5.1 แสดงเวลา (วินาที) ที่ใช้ในการย้ายตำแหน่งวัตถุเป็นระยะทาง 30 เซนติเมตร...... 23

5.2 แสดงเวลา (วินาที) ที่ใช้ในการสร้างเส้นโค้งตามรูปแบบที่กำหนด 4 รูปแบบ..... 24

5.3 แสดงการเปรียบเทียบความใกล้เคียงระหว่างเส้นโค้งที่สร้างโดยวิธีการจำลองเชิงกายภาพเทียมกับเส้นโค้งชนิดเบซิเยร์ทั่วไป.. 26

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงการใช้งานอุปกรณ์จำลองแรงในการปรับเปลี่ยนรูปทรงของดินเหนียวจำลอง[1]........	4
2.2 แสดงการควบคุมริบบิ้นจำลอง [2]........	5
2.3 แสดงกระบวนการในการสร้างโครงร่างของวัตถุเสมือน[3]........	5
3.1 แสดงเปรียบเทียบความคล้ายคลึงกันของเส้นโค้งชนิดเบซิเยร์ กับการปรับเปลี่ยนรูปทรงโดยใช้มือของมนุษย์........	6
3.2 การคำนวณหาความโค้งของเส้นโค้งชนิดเบซิเยร์........	8
3.3 แสดงการคำนวณโดยใช้ line segment-sphere intersection........	9
3.4 แสดงการคำนวณหาจุดตัดกันของวงกลม 2 วง........	10
3.5 แสดงถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้........	11
3.6 แสดงอุปกรณ์ระบุตำแหน่งแบบ 6 แกน ของบริษัท บริษัท Polhemus รุ่น 3 SPACE® ISOTRAK II™........	12
4.1 แสดงกระบวนการทำงานของเทคนิคการจำลองเชิงกายภาพเทียม........	13
4.2 แสดงการกำหนดโครงร่างจากเส้นโค้งเบซิเยร์ 3 ส่วนประกอบ........	15
4.3 แสดงการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของจุดควบคุม J_1........	16
4.4 แสดงกระบวนการ การคำนวณหาจุดต่างๆใหม่ ตามข้อกำหนด........	16
4.5 แสดงตัวอย่างการย้ายจุด C_1 ที่ขัดกับข้อกำหนด........	17
4.6 แสดงเส้นโครงร่างหลังจากที่มีการปรับเปลี่ยนแล้ว........	18
4.7 แสดงการแยกจุด J_2 ออกเป็น J_{2-1} และ J_{2-2} โดยการหมุนเส้นโครงร่างรอบจุด J_1 และ J_3 ตามลำดับ เป็นมุม θ เท่ากัน........	18
4.8 แสดงกระบวนการคำนวณหาค่าความเสียหาย........	19
5.1 แสดงเส้นโค้งเบซิเยร์แบบลู่เข้า........	21

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.2 แสดงกราฟการเปรียบเทียบระหว่างพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักค่าต่างๆ ของเส้นโค้งเบซิเยร์แบบลู่เข้า.. 21

5.3 แสดงเส้นโค้งเบซิเยร์แบบลู่ออก.. 21

5.4 แสดงกราฟการเปรียบเทียบระหว่างพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักค่าต่างๆ ของเส้นโค้งเบซิเยร์แบบลู่ออก.. 22

5.5 แสดงรูปทรงตัวอย่างที่ให้ผู้ใช้งานสร้าง 4 แบบ.. 23

5.6 แสดงการเปรียบเทียบรูปทรงเส้นโค้งแบบที่ 1 และ 2 (1) เป็นเส้นโค้งต้นแบบที่สร้างโดยเส้นโค้งชนิดเบซิเยร์ (2) เป็นเส้นโค้งที่สร้างโดยใช้วิธีการจำลองเชิงกายภาพเทียม.. 26

5.7 แสดงการเปรียบเทียบรูปทรงเส้นโค้งแบบที่ 3 และ 4 (1) เป็นเส้นโค้งต้นแบบที่สร้างโดยเส้นโค้งชนิดเบซิเยร์ (2) เป็นเส้นโค้งที่สร้างโดยใช้วิธีการจำลองเชิงกายภาพเทียม.. 27

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการสร้างวัตถุเสมือนสามมิติเป็นที่นิยมและแพร่หลายไปในหลายๆสาขาอาชีพอย่างรวดเร็ว นั้นเป็นเพราะว่าวัตถุเสมือนสามมิติสามารถปรับเปลี่ยนแก้ไขได้สะดวกและรวดเร็วกว่าการสร้างวัตถุต้นแบบขึ้นมาจริง ซึ่งการจำลองโมเดลสามมิตินั้นสามารถทำได้ใน 2 รูปแบบ ได้แก่ การจำลองในลักษณะที่อาศัยรูปทรงหลายเหลี่ยม (Polygon) และการจำลองโดยอาศัยเส้นโค้งด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ (Parametric Curve) ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาอุปกรณ์และเทคนิคต่างๆเพื่อนำมาใช้ปรับเปลี่ยนรูปทรงของวัตถุเสมือนสามมิติ ขึ้นมาอย่างมากมาย ซึ่งในแต่ละเทคนิคนั้นก็มีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป สำหรับ Direct Manipulation เป็นวิธีการที่เป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบัน แต่อย่างไรก็ตามเทคนิคนี้มีปัญหาที่เกิดขึ้น 2 ปัญหาคือ

1. วิธีในการใช้อุปกรณ์เพื่อการทำ Direct Manipulation : เนื่องจากโปรแกรมส่วนใหญ่ใช้เมาส์สองมิติเป็นอุปกรณ์ในการทำงาน ทำให้ผู้ที่ใช้โปรแกรมจำเป็นต้องมีการฝึกฝนทักษะและการจดจำคำสั่งต่างๆในการสร้างวัตถุเสมือน
2. วัตถุเสมือนในเครื่องมือสร้างส่วนใหญ่ไม่ได้ตอบสนองต่อการกระทำของผู้ใช้เหมือนกับวัตถุจริงในธรรมชาติ ทำให้ผู้ใช้จำเป็นต้องอาศัยระยะเวลาในการฝึกฝน อีกทั้งต้องทำความเข้าใจกับการตอบสนองของการปรับเปลี่ยนวัตถุเสมือนนั้นๆ

สำหรับปัญหาแรก เทคนิคที่เรียกว่า 3D Direct Manipulation Technique ได้รับการพัฒนาขึ้น เพื่อช่วยลดระยะเวลาในการเรียนรู้คำสั่งต่างๆของผู้ใช้งาน เทคนิคดังกล่าวอาศัยการกระทำโดยตรงกับตัววัตถุในลักษณะที่เลียนแบบการหยิบจับวัตถุในชีวิตประจำวัน ในปัจจุบันมีอุปกรณ์จำนวนมากที่ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับนำมาใช้กับ 3D Direct Manipulation Techniques ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ถุงมืออิเล็กทรอนิกส์เป็นอุปกรณ์สำหรับการทำ 3D Direct Manipulation

สำหรับในปัญหาที่สองนั้นสามารถแก้ไขโดยการเพิ่มคุณสมบัติทางกายภาพให้กับวัตถุเสมือน แต่การเพิ่มคุณสมบัติทางกายภาพให้กับวัตถุเสมือนนั้น เป็นการเพิ่มความซับซ้อนในการคำนวณให้กับคอมพิวเตอร์ ผลที่ตามมาก็คือคอมพิวเตอร์มีการประมวลผลและการตอบสนองต่อคำสั่งต่างๆ ช้าลง อีกทั้งการเพิ่มคุณสมบัติทางกายภาพเข้าไปยังทำให้วัตถุเสมือนนั้นสูญเสียคุณสมบัติความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนรูปทรงที่วัตถุเสมือนทั่วไปควรจะมีออกไป

จากปัญหาที่ได้กล่าวมาแล้ว จะเห็นได้ว่าผู้ใช้งานจำเป็นที่จะต้องมีการฝึกฝนและเรียนรู้ทักษะต่างๆค่อนข้างมาก ถึงจะสามารถใช้งานโปรแกรมที่มีอยู่ในปัจจุบันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ดังนั้นในงานวิจัยชิ้นนี้จึงได้มุ่งเน้นไปที่ จะทำอย่างไรที่จะให้ผู้ใช้งานสามารถสร้างหรือปรับเปลี่ยนรูปทรงวัตถุเสมือนสามมิติได้อย่างสะดวก รวดเร็ว โดยที่ใช้ระยะเวลาในการฝึกฝนและเรียนรู้ไม่มาจนเกินไป

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาและพัฒนาวิธีการที่ช่วยลดระยะเวลาในการเรียนรู้คำสั่งและวิธีการที่ใช้ในการสร้างวัตถุเสมือนสามมิติ

1.2.2 เพื่อศึกษาและพัฒนาวิธีการที่ช่วยลดระยะเวลาในการประมวลผลและการจำลองวัตถุเสมือนที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับวัตถุจริงในธรรมชาติ

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

ด้วยการจำลองวัตถุเสมือนสามมิติโดยใช้ 3D Direct Manipulation และ การจำลองเชิงกายภาพเทียม จะช่วยลดระยะเวลาการเรียนรู้ในการสร้างแบบจำลองวัตถุเสมือน

1.4 ขอบเขตของการดำเนินงานวิจัย

วัตถุเสมือนที่ใช้ในการวิจัยนี้ เป็นวัตถุเสมือนที่มีพื้นฐานจากเส้นโค้งชนิดเบซิเยร์ หรือ เป็นวัตถุเสมือนที่มีโครงร่างที่ถูกกำหนดด้วยเส้นโค้งชนิดเบซิเยร์

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

1.5.1 กำหนดหัวข้อ เป้าหมาย จุดประสงค์ และขอบเขตของการทำวิทยานิพนธ์

1.5.2 ศึกษาทฤษฎี และหลักการพื้นฐานที่ใช้ในงานวิจัย

1.5.3 ศึกษาปัญหา และวิเคราะห์วิธีการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น

1.5.4 พัฒนาโปรแกรมต้นแบบประกอบการทดลอง

1.5.5 ทำการทดลอง ปรับปรุง และสรุปผล

1.5.6 พัฒนาโปรแกรมประยุกต์

1.5.7 จัดทำเอกสารประกอบวิทยานิพนธ์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เพื่อพัฒนาวิธีการที่จะช่วยลดระยะเวลาการเรียนรู้ในการสร้างวัตถุเสมือนสามมิติให้กับผู้ใช้งาน

1.7 โครงสร้างวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บท มีดังต่อไปนี้ คือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐาน ทฤษฎีที่ใช้ ขอบเขตของการดำเนินงานวิจัย และขั้นตอนการศึกษา และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย

บทที่ 4 เทคนิคการปรับเปลี่ยนเส้นโค้งสามมิติแบบเสมือนโดยใช้การจำลองวัตถุเชิงกายภาพเทียม

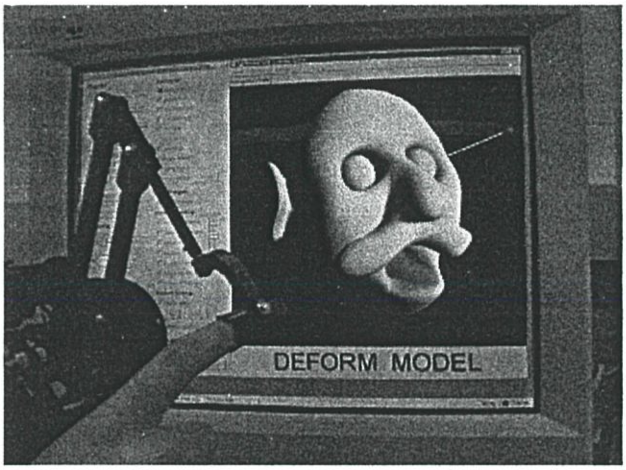
บทที่ 5 ผลการทดลอง

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

บทที่ 2
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

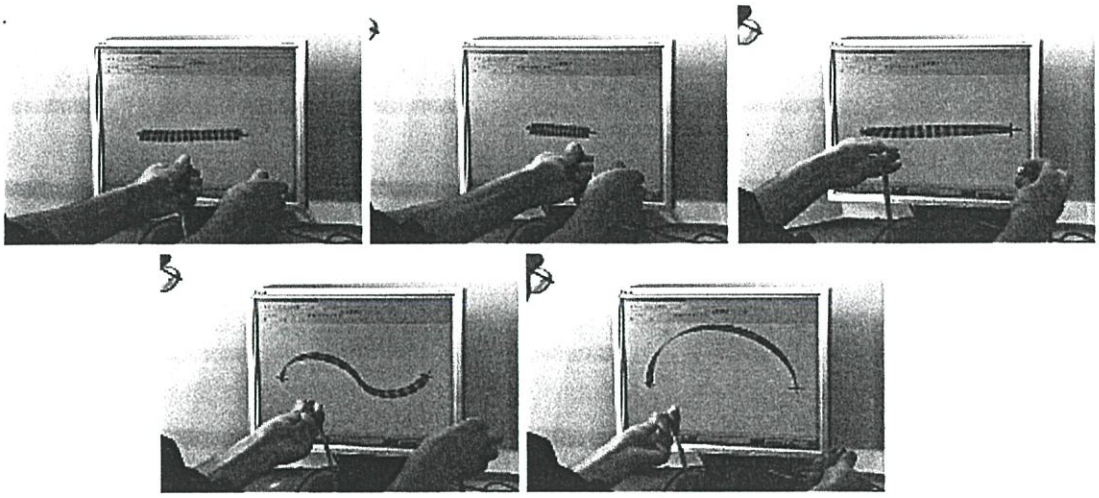
ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง มีดังต่อไปนี้

Kevin T. Mcdonnell , Houng Qin และ Robert A. Wlodarczyk[1] ได้เสนอวิธีการแกะสลักดินเหนียวจำลองโดยใช้อุปกรณ์จำลองแรง(Force feedback) ที่เรียกว่า Haptics โดยวัตถุเสมือนที่สร้างขึ้นเป็นวัตถุเสมือนประเภท Volume Matrix Model ที่ให้ความสำคัญกับปริมาตรของวัตถุ และได้จำลองคุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียวใส่ลงไปในวัตถุเสมือน อีกทั้งยังสามารถคำนวณการสร้างวัตถุได้ในแบบเรียลไทม์ (real time) ในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องชิ้นนี้ได้ใช้คุณสมบัติของสปริงจำลอง (Virtual Spring Simulation) ใส่เข้าไปกับวัตถุเสมือนเพื่อจำลองคุณสมบัติทางกายภาพของวัตถุจริงในธรรมชาติซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยฉบับนี้ที่ไม่ได้ใช้การจำลองคุณสมบัติทางกายภาพ



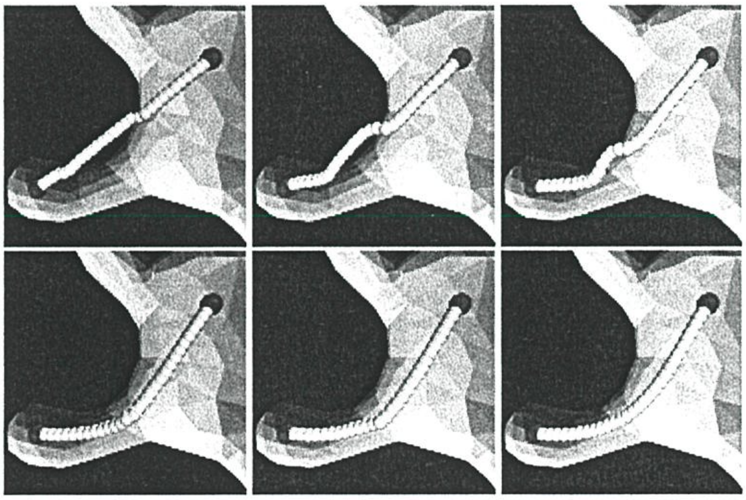
รูปที่ 2.1 แสดงการใช้งานอุปกรณ์จำลองแรงในการปรับเปลี่ยนรูปทรงของดินเหนียวจำลอง[1]

Ignacio Llamas , Alexander Powell , Jarek Rossignac และ Chris D. Shaw[2] ได้เสนอวิธีการปรับเปลี่ยนรูปทรงของวัตถุเสมือนสามมิติโดยใช้ริบบิ้นจำลองเป็นเครื่องมือ ซึ่งผู้ใช้งานจะเลือกวัตถุและตำแหน่งที่ต้องการปรับเปลี่ยนรูปทรงแล้วจึงสร้างริบบิ้นจำลองขึ้นมาควบคุมการปรับเปลี่ยนรูปทรงของวัตถุนั้น ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 2.3 อย่างไรก็ตามงานวิจัยชิ้นนี้มีข้อจำกัดนั้นก็คือ การที่จะต้องสร้างริบบิ้นจำลองขึ้นมาก่อนทำให้ต้องเสียเวลาในการจำลองคุณสมบัติของริบบิ้นอีกทั้ง คุณสมบัติของริบบิ้นเองก็ยังมีข้อจำกัดอยู่ในเรื่องรูปทรง และความยาวของริบบิ้น



รูปที่ 2.2 แสดงการควบคุมริบบิ้นจำลอง [2]

Wan-Chun Ma, Fu-Che Wu และ Ming Ouhyoung [3] ได้เสนอวิธีการปรับเปลี่ยนรูปทรงของวัตถุเสมือนสามมิติโดยการสร้างโครงร่าง (skeleton) ขึ้นมาใช้ในการควบคุมวัตถุเสมือนรูปทรงต่างๆได้ โดยในรูปที่ 2.5 เป็นการแสดงกระบวนการในการสร้างโครงร่างของวัตถุเสมือน อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ไม่ได้สนใจคุณสมบัติและลักษณะของโครงร่างที่สร้างขึ้นรวมทั้งวัตถุเสมือนที่นำมาใช้ก็ไม่ได้มีคุณสมบัติทางกายภาพ จึงทำให้ผู้ใช้งานเกิดความสับสนในคุณสมบัติของโครงร่างจึงเป็นผลให้การใช้งานทำได้ยากลำบากยิ่งขึ้น



รูปที่ 2.3 แสดงกระบวนการในการสร้างโครงร่างของวัตถุเสมือน[3]

อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้สามารถนำเทคนิคการปรับเปลี่ยนเส้นโค้งเสมือนโดยใช้การจำลองวัตถุเชิงกายภาพเทียมมาประยุกต์ใช้งานได้โดยการกำหนดคุณสมบัติให้กับโครงร่างที่สร้างขึ้นได้โดยกำหนดตามคุณสมบัติพื้นฐานของเส้นโค้งชนิดเบซิเยร์

บทที่ 3
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย

ในบทที่ 3 นี้ จะกล่าวถึงลักษณะโดยทั่วไปของเส้นโค้งชนิดเบซิเยร์ (Bezier curve), การปรับเปลี่ยนรูปทรงของเส้นโค้งเบซิเยร์, การตรวจสอบการชนกันของวัตถุ (Collision Detection) และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกันงานวิจัย

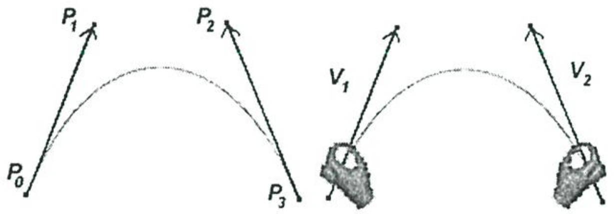
3.1 เส้นโค้งชนิดเบซิเยร์ (Bezier curve)

เส้นโค้งชนิดเบซิเยร์ (Bezier curve) เป็นเส้นโค้งที่สร้างขึ้นโดยใช้จุดควบคุม (Control Point) เป็นจุดที่กำหนดรูปร่างและลักษณะของเส้นโค้ง ซึ่งเส้นโค้งชนิดเบซิเยร์สามารถมีจุดควบคุมได้ตั้งแต่ 3 จุดขึ้นไป แต่โดยทั่วไปนิยมใช้จุดควบคุม 4 จุด โดยเรียกเส้นโค้งชนิดเบซิเยร์ ชนิดที่มีจุดควบคุม 4 จุดว่า Cubic Bezier Curve โดยที่เส้นโค้งชนิดเบซิเยร์ สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (1) ดังต่อไปนี้

$$R(t) = (1-t)^3 P_0 + 3t(1-t)^2 P_1 + 3t^2 (1-t) P_2 + t^3 P_3 \quad (3.1)$$

โดยที่ P_0, P_1, P_2, P_3 คือจุดควบคุมทั้ง 4 จุดของเส้นโค้งชนิดเบซิเยร์

อย่างไรก็ตามในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้พัฒนาโดยคำนึงถึงพื้นฐานของมือมนุษย์เป็นหลัก ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบโครงสร้างของเส้นโค้งชนิดเบซิเยร์กับมือของมนุษย์แล้ว จะสังเกตเห็นความคล้ายคลึงกัน ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงเปรียบเทียบความคล้ายคลึงกันของเส้นโค้งชนิดเบซิเยร์ กับการปรับเปลี่ยนรูปทรงโดยใช้มือของมนุษย์

กำหนดให้ V_1 และ V_2 คือเวกเตอร์ทิศทาง และ α และ β เป็นขนาดของเวกเตอร์ทิศทาง จะได้ว่า

$$\alpha V_1 = P_1 - P_0 \quad (3.2)$$

$$\beta V_2 = P_2 - P_3 \quad (3.3)$$

ดังนั้นจากสมการที่ (3.1) สามารถเปลี่ยนรูปได้ใหม่ดังต่อไปนี้

$$\boldsymbol{R}(t) = (t-1)^2(2t-1)\boldsymbol{P}_0 + 3t(1-t)^2\,\alpha \boldsymbol{V}_1 + 3t^2(1-t)\beta \boldsymbol{V}_2 + t^2(3-2t)\boldsymbol{P}_3 \tag{3.4}$$

3.1.1. Curve control parameter mapping

เมื่อมีการปรับเปลี่ยนรูปทรงของเส้นโค้งเบซิเยร์ จำเป็นต้องมีการคำนวณย้อนกลับเพื่อหาจุดควบคุมใหม่ โดยกำหนดให้ จุดควบคุม $\boldsymbol{P}_0$ และ $\boldsymbol{P}_3$ ยังคงเป็นจุดเดิม ไม่มีการเปลี่ยนแปลง จากสมการ (3.4) สามารถตั้งเป็น 2 สมการได้ดังต่อไปนี้

$$\boldsymbol{R}(t_1) = (t_1-1)^2(2t_1-1)\boldsymbol{P}_0 + 3t_1(1-t_1)^2\,\alpha \boldsymbol{V}_1 + 3t_1^2(1-t_1)\beta \boldsymbol{V}_2 + t_1^2(3-2t_1)\boldsymbol{P}_3 \tag{3.5}$$

$$\boldsymbol{R}(t_2) = (t_2-1)^2(2t_2-1)\boldsymbol{P}_0 + 3t_2(1-t_2)^2\,\alpha \boldsymbol{V}_1 + 3t_2^2(1-t_2)\beta \boldsymbol{V}_2 + t_2^2(3-2t_2)\boldsymbol{P}_3 \tag{3.6}$$

กำหนดให้

$$\begin{aligned} a_1 &= (1-t_1)^2(1+2t_1) & a_2 &= (1-t_2)^2(1+2t_2) \\ b_1 &= 3t_1(1-t_1)^2 & b_2 &= 3t_2(1-t_2)^2 \\ c_1 &= 3t_1^2(1-t_1) & c_2 &= 3t_2^2(1-t_2) \\ d_1 &= t_1^2(3-2t_1) & d_2 &= t_2^2(3-2t_2) \end{aligned} \tag{3.7}$$

จะได้ว่า

$$\boldsymbol{R}(t_1) = a_1\boldsymbol{P}_0 + b_1\,\alpha \boldsymbol{V}_1 + c_1\beta \boldsymbol{V}_2 + d_1\boldsymbol{P}_3 \tag{3.8}$$

$$\boldsymbol{R}(t_2) = a_2\boldsymbol{P}_0 + b_2\,\alpha \boldsymbol{V}_1 + c_2\beta \boldsymbol{V}_2 + d_2\boldsymbol{P}_3 \tag{3.9}$$

จากสมการ (3.8) และ (3.9) สามารถแก้สมการได้ ดังต่อไปนี้

$$\alpha \boldsymbol{V}_1 = \frac{c_2\boldsymbol{R}(t_1) - c_1\boldsymbol{R}(t_2) + (a_2c_1 - a_1c_2)\boldsymbol{P}_0 + (c_1d_2 - c_2d_1)\boldsymbol{P}_3}{b_1c_2 - b_2c_1} \tag{3.10}$$

$$\beta \boldsymbol{V}_2 = \frac{b_2\boldsymbol{R}(t_1) - b_1\boldsymbol{R}(t_2) + (a_2b_1 - a_1b_2)\boldsymbol{P}_0 + (b_1d_2 - b_2d_1)\boldsymbol{P}_3}{b_2c_1 - b_1c_2} \tag{3.11}$$

V_1 และ V_2 ที่ได้คือเวกเตอร์ทิศทางใหม่ของเส้นโค้งเบซิเยร์

และ α และ β คือขนาดของเวกเตอร์ทิศทางใหม่ของเส้นโค้งเบซิเยร์

3.1.2. การคำนวณหาความยาวของเส้นโค้งชนิดเบซิเยร์

กำหนดให้จุดควบคุมของเส้นโค้งเบซิเยร์ทั้ง 4 จุด มีดังต่อไปนี้ $\boldsymbol{P_0}$ (x0, y0, z0), $\boldsymbol{P_1}$ (x1, y1, z1), $\boldsymbol{P_2}$ (x2, y2, z2) และ $\boldsymbol{P_3}$ (x3, y3, z3) และ กำหนดให้

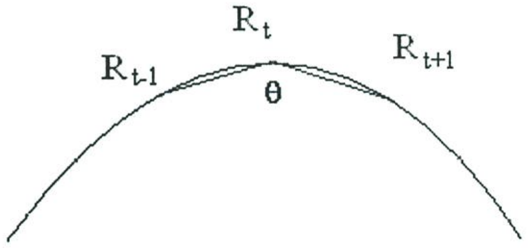
$$\begin{array}{lll} e_1 = 3(x_1 - x_0) & , \; e_2 = 3(x_0 - 2x_1 + x_2) & , \; e_3 = -x_0 + 3x_1 - 3x_2 + x_3 \\ f_1 = 3(y_1 - y_0) & , \; f_2 = 3(y_0 - 2y_1 + y_2) & , \; f_3 = -y_0 + 3y_1 - 3y_2 + y_3 \\ g_1 = 3(z_1 - z_0) & , \; g_2 = 3(z_0 - 2z_1 + z_2) & , \; g_3 = -z_0 + 3z_1 - 3z_2 + z_3 \end{array} \qquad (3.12)$$

ดังนั้น ความยาวของเส้นโค้งเบซิเยร์ คำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$L = \int_0^1 \sqrt{\left(e_1 + 2e_2t + 3e_3t^2\right)^2 + \left(f_1 + 2f_2t + 3f_3t^2\right)^2 + \left(g_1 + 2g_2t + 3g_3t^2\right)^2}\, dt \qquad (3.13)$$

3.1.3. การคำนวณความโค้งของเส้นโค้งชนิดเบซิเยร์

กำหนดให้ความโค้งของเส้นโค้งชนิดเบซิเยร์ คือค่า $\cos\theta$ ของมุมที่มีค่าน้อยที่สุดหรือก็คือค่า $\cos\theta$ ที่มากที่สุด ที่เกิดจากส่วนของเส้นตรงย่อย ที่ประกอบขึ้นมาเป็นเส้นโค้งเบซิเยร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การคำนวณหาความโค้งของเส้นโค้งชนิดเบซิเยร์

ซึ่งค่า R(t-1) , R(t) และ R(t+1) คำนวณได้จากสมการที่ 3.4 ดังนั้น ค่าความโค้งของเส้นโค้งชนิดเบซิเยร์ คำนวณได้ดังสมการที่ 3.14

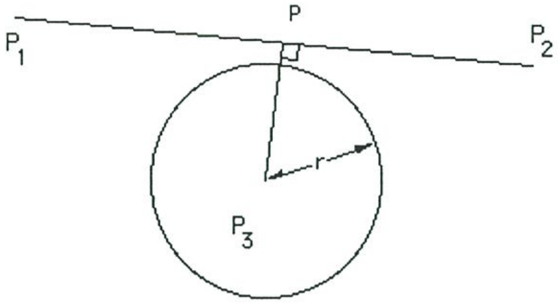
$$\cos\theta_{\max} = \max_{t=0\to 1} \cos\left(\frac{\boldsymbol{R}_t\boldsymbol{R}_{t-1} \bullet \boldsymbol{R}_{t+1}\boldsymbol{R}_t}{\left|\boldsymbol{R}_t\boldsymbol{R}_{t-1}\right|\left|\boldsymbol{R}_{t+1}\boldsymbol{R}_t\right|}\right) \qquad (3.14)$$

3.2. การตรวจจับการชนกัน (Collision Detection)

สำหรับการทำ 3D Direct Manipulation นั้นจำเป็นต้องมีการคำนวณหาจุดที่เกิดการชนกันระหว่างถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ กับวัตถุเสมือนที่ต้องการปรับเปลี่ยน วิธีที่ง่ายที่สุดนั้นคือการสร้างทรงกลมสมมติขึ้นมาที่บริเวณฝ่ามือเพื่อใช้เป็นจุดศูนย์กลางสำหรับคำนวณ และโดยทั่วไปแล้วเส้น

โค้งชนิดเบซิเยร์ จะเกิดจากเส้นตรงเส้นเล็กๆ จำนวนมากมาประกอบกันเป็นเส้นโค้ง ดังนั้น จุดที่เกิดการชนกันสามารถคำนวณหาได้โดยใช้ทฤษฎี Line Segment-Sphere Intersection และ Sphere-Sphere Intersection

3.2.1 Line Segment-Sphere Intersection[4]



รูปที่ 3.3 แสดงการคำนวณโดยใช้ line segment-sphere intersection

จากรูปที่ 3.3 จุด P เป็นจุดใดๆ บนเส้นตรงที่ถูกกำหนดโดย จุด $\boldsymbol{P}_1$ (x_1,y_1,z_1) และ $\boldsymbol{P}_2$ (x_2,y_2,z_2) ดังนี้

$$\boldsymbol{P} = \boldsymbol{P}_1 + u\,(\boldsymbol{P}_2 - \boldsymbol{P}_1) \tag{3.15}$$

และทรงกลมมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ $\boldsymbol{P}_3$ (x_3,y_3,z_3) และมีรัศมี r เขียนเป็นสมการทรงกลมได้ดังนี้

$$(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2 = r^2 \tag{3.16}$$

ซึ่งสมการเส้นตรงบนทรงกลมเขียนได้ในรูปของสมการพีชคณิตกำลังสองดังนี้

$$a\,u^2 + b\,u + c = 0 \tag{3.17}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} a &= (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2 \\ b &= 2[\,(x_2 - x_1)(x_1 - x_3) + (y_2 - y_1)(y_1 - y_3) + (z_2 - z_1)(z_1 - z_3)\,] \\ c &= x_3^2 + y_3^2 + z_3^2 + x_1^2 + y_1^2 + z_1^2 - 2[x_3 x_1 + y_3 y_1 + z_3 z_1] - r^2 \end{aligned} \tag{3.18}$$

จากการแก้สมการพีชคณิตกำลังสอง จะสามารถคำนวณหาผลลัพธ์ได้โดย

$$u = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \tag{3.19}$$

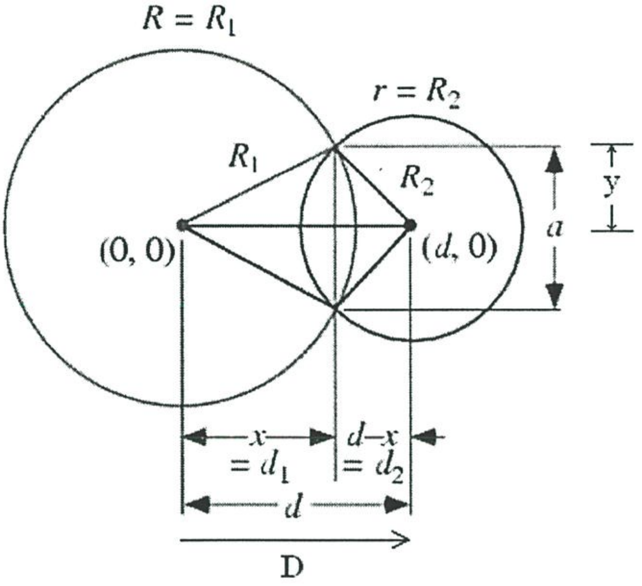
เมื่อพิจารณา เทอมของ $b^2 - 4ac$ จะได้ว่า

ถ้า $b^2 - 4ac < 0$ แสดงว่าเส้นตรงและทรงกลม ไม่ชนกัน

ถ้า $b^2 - 4ac = 0$ แสดงว่าเส้นตรงเป็นเส้นสัมผัสทรงกลม

และถ้า $b^2 - 4ac > 0$ แสดงว่าเส้นตรงตัดผ่านทรงกลม

3.2.2 Sphere-Sphere Intersection[5]



รูปที่ 3.4 แสดงการคำนวณหาจุดตัดกันของวงกลม 2 วง

จากรูปที่ 3.4 สามารถคำนวณหาค่า x ได้จากสมการ (3.20) ต่อไปนี้

$$x = \frac{d^2 - r^2 + R^2}{2d} \tag{3.20}$$

และ จะได้ว่า

$$a = \frac{1}{d}\sqrt{(-d + r - R)(-d - r + R)(-d + r + R)(d + r + R)} \tag{3.21}$$

โดยที่ y = a/2 ดังนั้น $\boldsymbol{R_1}$ จึงคำนวณได้จาก

$$\boldsymbol{R_1} = \left(x * \frac{\boldsymbol{D}}{\|\boldsymbol{D}\|} \right) + \left(y * \frac{\boldsymbol{D_\perp}}{\|\boldsymbol{D_\perp}\|} \right) \tag{3.22}$$

โดยที่ $\boldsymbol{D}$ คือเวกเตอร์ทิศทางที่เกิดขึ้นระหว่างจุดศูนย์กลางของทรงกลมทั้ง 2

และ $\boldsymbol{D_\perp}$ คือเวกเตอร์ที่ตั้งฉากกับเวกเตอร์ $\boldsymbol{D}$

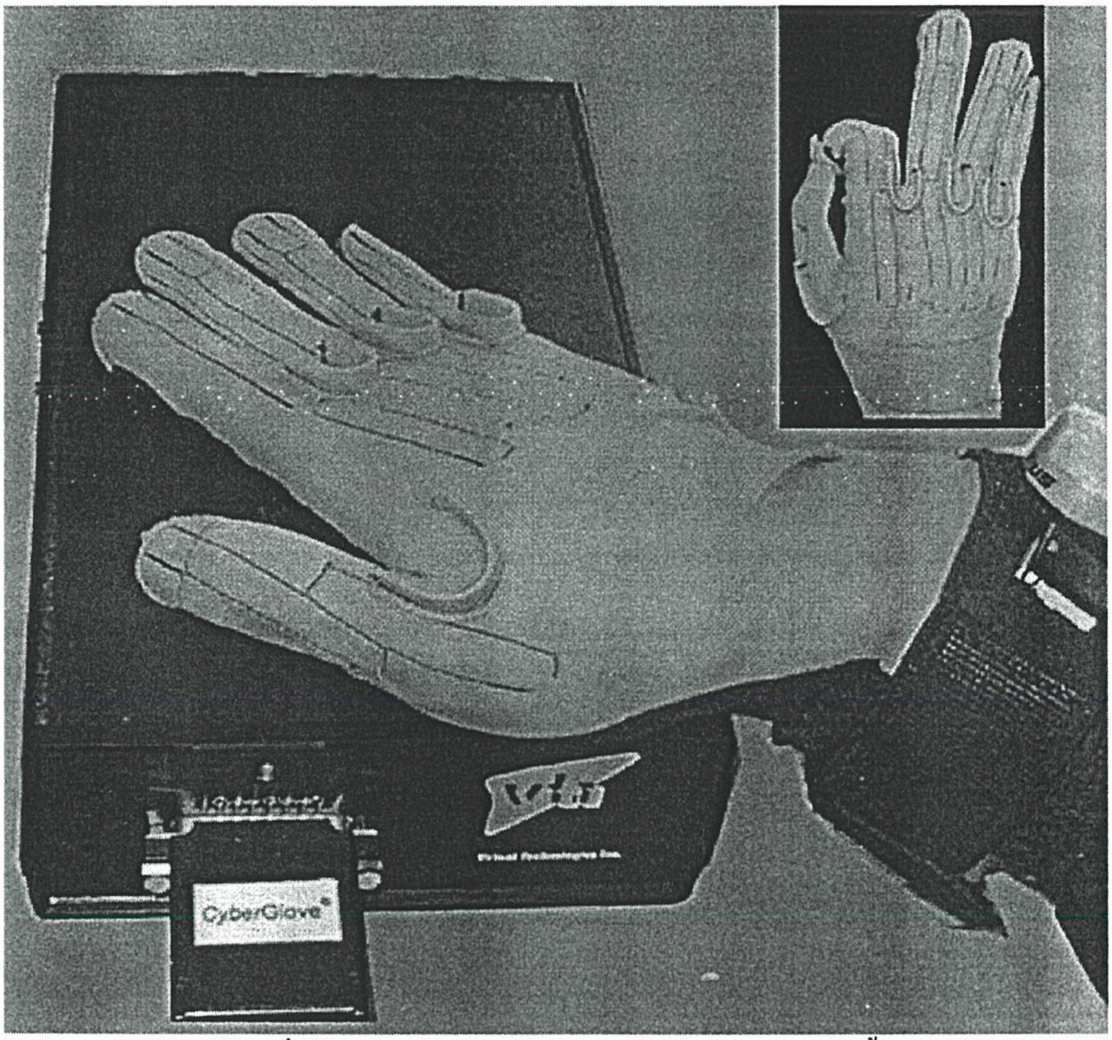
เมื่อทราบค่าของเวกเตอร์ $\boldsymbol{R_1}$ ก็จะสามารถหาจุดตัดได้ แต่ค่า $\boldsymbol{R_1}$ ที่คำนวณได้นี้จะมีค่าเป็นไปได้ 2 ค่า ขึ้นอยู่กับ $\boldsymbol{D_\perp}$ ว่าใช้ค่าบวกหรือลบ

3.3. อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้อุปกรณ์ที่ติดต่อระหว่างผู้ใช้งานกับโปรแกรมมีดังต่อไปนี้

3.3.1. ถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ (Cyber Glove)

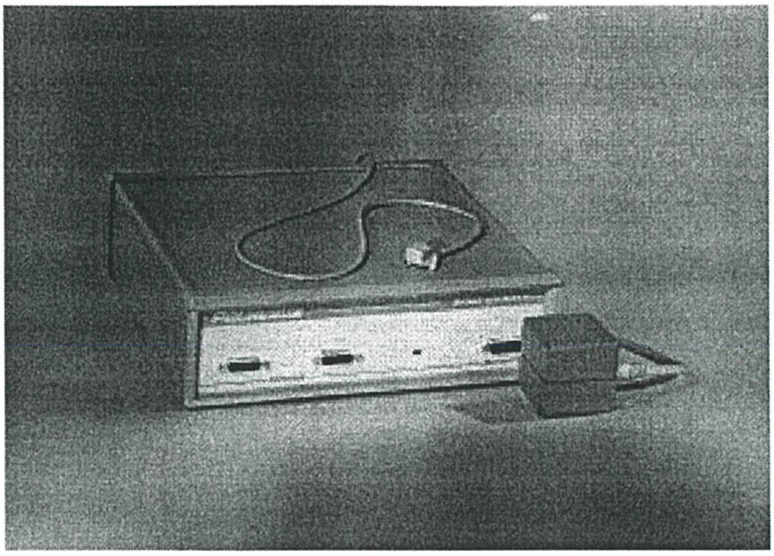
ถุงมืออิเล็กทรอนิกส์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สวมใส่ที่มือ แล้วใช้เซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวต่างๆของมือ ซึ่งตำแหน่งของเซนเซอร์นั้นได้ถูกออกแบบมาให้วางอยู่ตรงกับสรีระของมือ ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้

3.3.2. อุปกรณ์ระบุตำแหน่งแบบ 6 แกน (6 Degree of freedom Tracker)

อุปกรณ์ระบุตำแหน่งแบบ 6 แกน ที่นำมาใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ ทำงานด้วยระบบแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งผลิตโดยบริษัท Polhemus รุ่น 3 SPACE® ISOTRAK II™ ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงอุปกรณ์ระบุตำแหน่งแบบ 6 แกน ของบริษัท บริษัท Polhemus รุ่น 3 SPACE® ISOTRAK II™

โดยอุปกรณ์ระบุตำแหน่งแบบ 6 แกนนี้ ประกอบไปด้วยส่วนต่างๆดังนี้

3.3.2.1. อุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ทำหน้าที่ เป็นตัวส่งสัญญาณและกำหนดตำแหน่งของจุดอ้างอิงเริ่มต้น เมื่อเทียบกับอุปกรณ์รับสัญญาณ โดยมีรัศมีทำการประมาณ 60 นิ้ว

3.3.2.2. อุปกรณ์รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Receiver) ภายในมีจุดรวมสัญญาณไฟฟ้า สำหรับทำหน้าที่รับสัญญาณตำแหน่งพิกัด และองศาการหมุน โดยสัมพันธ์กับอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter)

บทที่ 4

เทคนิคการจำลองเชิงกายภาพเทียม

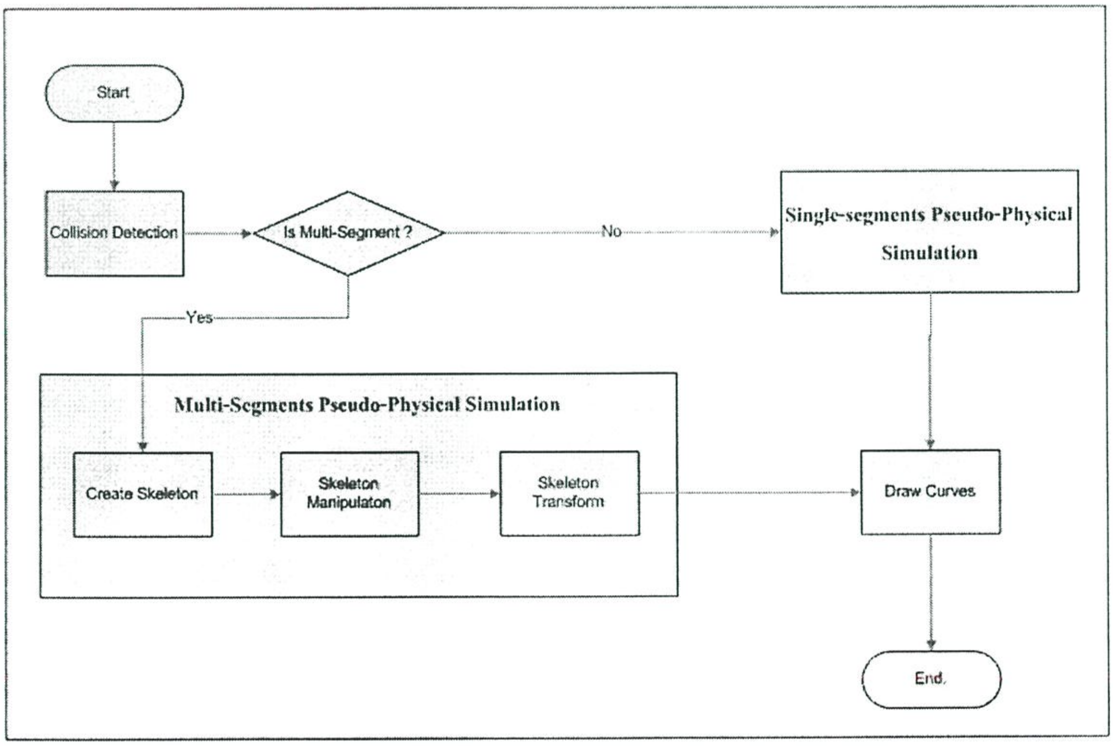
4.1 การจำกัดทางกายภาพ (Physical constraints)

การจำกัดทางกายภาพนั้น เกิดจากการเลียนแบบคุณสมบัติทางกายภาพของวัตถุในโลกแห่งความเป็นจริงมีอยู่ 2 ชนิด ได้แก่

1. การจำกัดทางความยาว (Length constraint) เป็นข้อกำหนดเพื่อจำกัดความยาวให้สามารถเปลี่ยนแปลงไปจากความยาวดั้งเดิมได้มากน้อยเพียงใด ยกตัวอย่างเช่น เส้นลวดแข็งจะมีค่า การจำกัดทางความยาวมาก ทำให้เมื่อมีการงอเส้นลวดจึงเกิดการหักมุมตามแรงที่มากระทำ เป็นต้น

2. การจำกัดทางความโค้ง (Bending constraint) เป็นข้อกำหนดเพื่อจำกัดการโค้งงอของวัตถุว่าสามารถโค้งงอได้มากน้อยเพียงใด ยกตัวอย่างเช่น เส้นเชือกการจำกัดทางความโค้งมากกว่า เมื่อมีการงอเกิดขึ้น จะทำให้เส้นเชือกเกิดการโค้งงอขึ้นตามแรงที่มากระทำ แต่จะไม่เกิดการหักมุม เป็นต้น

4.2 การจำลองเชิงกายภาพเทียม (Pseudo-Physical Simulation)



รูปที่ 4.1 แสดงกระบวนการทำงานของเทคนิคการจำลองเชิงกายภาพเทียม

4.2.1 การจำลองเชิงกายภาพเทียมแบบส่วนประกอบย่อยเดียว (Single-segments Pseudo-Physical simulation)

การจำลองเชิงกายภาพเทียมแบบส่วนประกอบย่อยเดียว จะใช้กับเส้นโค้งเบซิเยร์ที่ประกอบด้วยจุดควบคุม 4 จุด (Cubic Bezier curve) โดยกำหนดพารามิเตอร์ w_1 และ w_2 ขึ้นมาเพื่อใช้ในการถ่วงน้ำหนักการจำกัดทางกายภาพที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อก่อนหน้านี้ โดยจะได้ความสัมพันธ์ดังสมการต่อไปนี้

$$C(\alpha,\beta)=w_1\Delta L(\alpha,\beta)+w_2\cos^n\theta_{max}(\alpha,\beta) \tag{4.1}$$

โดยที่ C คือค่าความเสียหาย (cost value) ที่เกิดขึ้นจากการถ่วงน้ำหนักระหว่างความยาวและความโค้ง

w_1 และ w_2 คือพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนัก

n คือค่าพารามิเตอร์ความโค้ง ซึ่งจากการทดลอง n = 2 จะให้ที่ดีที่สุด

$\cos\theta_{max}$ คือค่าความโค้งที่คำนวณได้จากสมการที่ (3.14)

ΔL คือค่าความแตกต่างของความยาวเส้นโค้งกับค่าเริ่มต้น ซึ่งคำนวณได้จากสมการ(4.2)

$$\Delta L=\left|\frac{L-L_0}{L_0}\right| \tag{4.2}$$

L คือความยาวเส้นโค้งของเส้นโค้งชนิดเบซิเยร์

L_0 คือความยาวเริ่มต้นของเส้นโค้งโดยเริ่มต้นกำหนดจากความยาวทั้งหมดของจุดควบคุมทั้งหมด

จากสมการที่ (4.1) ค่า C ที่เกิดขึ้นนี้จำเป็นต้องมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งจะทำให้สามารถหาค่า α และ β ได้ โดยเป็นไปตามความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$(\alpha_{\min},\beta_{\min})=\arg\ \min_{\alpha,\beta} C(\alpha,\beta) \tag{4.3}$$

อย่างไรก็ดีเพื่อให้รูปทรงของเส้นโค้งที่ได้มีความต่อเนื่องกัน จึงต้องกำหนดให้ อัตราส่วนระหว่าง α และ β นั้น มีค่าเท่ากับค่าของเส้นโค้งเริ่มต้น และกำหนดให้ γ คือขนาดของ α และ β ที่มีการเปลี่ยนแปลง จากสมการที่ (4.3) จะได้ว่า

$$\gamma_{\min}=\arg\ \min_{\alpha,\beta} C(\gamma\frac{\alpha}{\beta},\frac{1}{\gamma}) \tag{4.4}$$

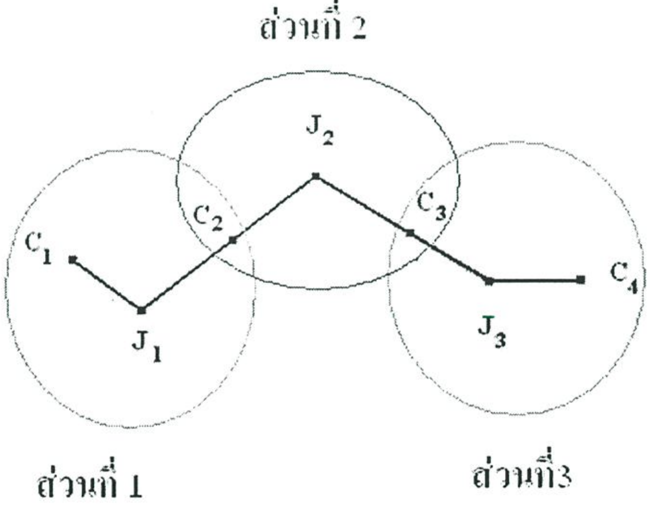
แต่เส้นโค้งเบซิเยร์แบบ 1 ส่วนประกอบย่อย (1 Segment) นั้น ไม่สามารถที่จะสร้างเส้นโค้งให้มีรูปทรงที่ซับซ้อนได้ ดังนั้นเพื่อให้สามารถสร้างรูปทรงได้หลากหลายมากยิ่งขึ้น จึงใช้เส้นโค้งเบซิเยร์แบบหลายส่วนประกอบย่อยมาช่วยให้สามารถแสดงรูปทรงได้หลากหลายมากยิ่งขึ้น แต่การใช้เส้นโค้งเบซิเยร์แบบหลายส่วนประกอบย่อยนั้นไม่สามารถนำเทคนิคที่ได้กล่าวไปแล้วไปใช้ได้โดยตรง จึงได้พัฒนาเทคนิคการจำลองเชิงกายภาพเทียมแบบหลายส่วนประกอบย่อยขึ้นมาเพิ่มเติม

4.2.2 การจำลองเชิงกายภาพเทียมแบบหลายส่วนประกอบย่อย (Multi-segments Pseudo-Physical simulation)

การจำลองเชิงกายภาพเทียมแบบหลายส่วนประกอบย่อย แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน

4.2.2.1 การสร้างโครงร่าง (Create Skeleton)

ขั้นตอนแรกเป็นการสร้างเส้นโครงร่าง(Skeleton)ขึ้นมาจากจุดควบคุมของเส้นโค้งเบซิเยร์จำนวน 3 ส่วนประกอบย่อย โดยกำหนดให้เส้นโค้งเบซิเยร์ทั้ง 3 ส่วนนั้น เป็นเส้นโค้งเบซิเยร์แบบมี 3 จุดควบคุม(Quadratic Bezier curve) แต่ในส่วนที่ 2 เป็นเส้นโค้งเบซิเยร์นั้นจะถูกปรับเปลี่ยนให้เป็นแบบมี 4 จุดควบคุม (Cubic Bezier curve) ในขั้นตอนการแปลงโครงร่างกลับไปเป็นเส้นโค้งเบซิเยร์ (Skeleton Transform) ภายหลัง โดยกำหนดเส้นโครงร่างทำได้ดังในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงการกำหนดโครงร่างจากเส้นโค้งเบซิเยร์ 3 ส่วนประกอบ

จากรูปที่ 4.2

C_1 , J_1 , C_2 คือจุดควบคุม 3 จุด ของเส้นโค้งเบซิเยร์ ส่วนประกอบที่ 1

C_2 , J_2 , C_3 คือจุดควบคุม 3 จุด ของเส้นโค้งเบซิเยร์ ส่วนประกอบที่ 2

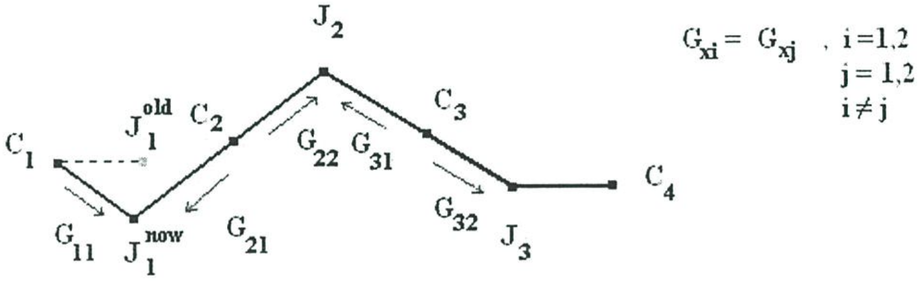
C_3 , J_3 , C_4 คือจุดควบคุม 3 จุด ของเส้นโค้งเบซิเยร์ ส่วนประกอบที่ 3

4.2.2.2 การปรับเปลี่ยนโครงร่าง (Skeleton Manipulation)

หลังจากสร้างเส้นโครงร่างขึ้นมาแล้ว ก็ทำการตรวจสอบว่าจุดควบคุมต่างๆมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งหรือไม่ ถ้ามีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของเส้นโครงร่าง จำเป็นต้องมีการคำนวณหาตำแหน่งของจุดต่างๆบนเส้นโครงร่างใหม่ โดยมีข้อกำหนด 2 ข้อ คือ

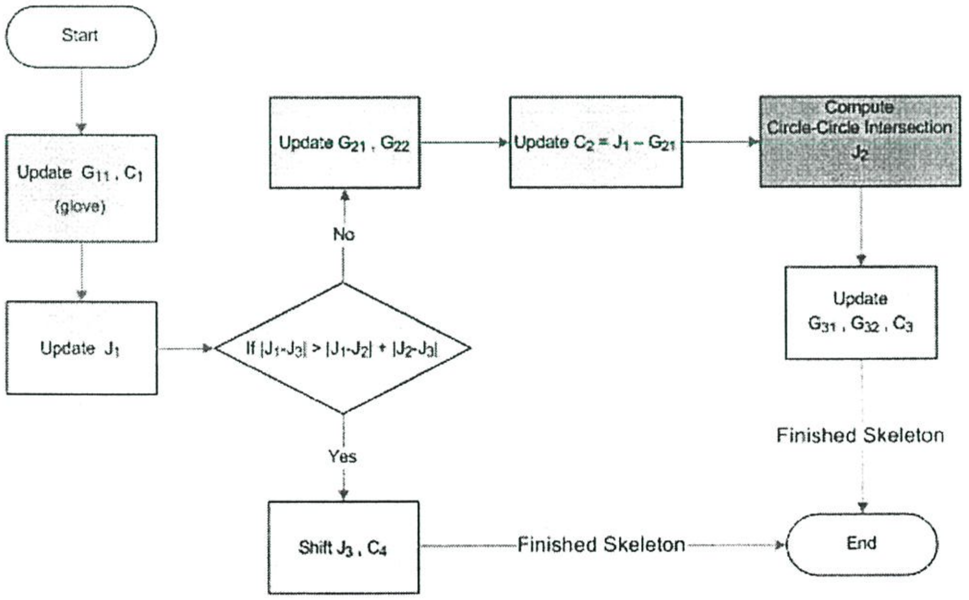
1. ความยาวแต่ละส่วนและความยาวรวมของเส้นโครงร่างต้องคงที่
2. ปลายอีกด้านหนึ่งของเส้นโครงร่าง ต้องไม่มีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง ยกเว้นในกรณีที่ไม่สามารถยังคงตำแหน่งไว้ ให้เหมือนกับเป็นการย้ายทุกจุดไปเท่าๆกัน

ซึ่งการปรับเปลี่ยนแสดงได้ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของจุดควบคุม J_1

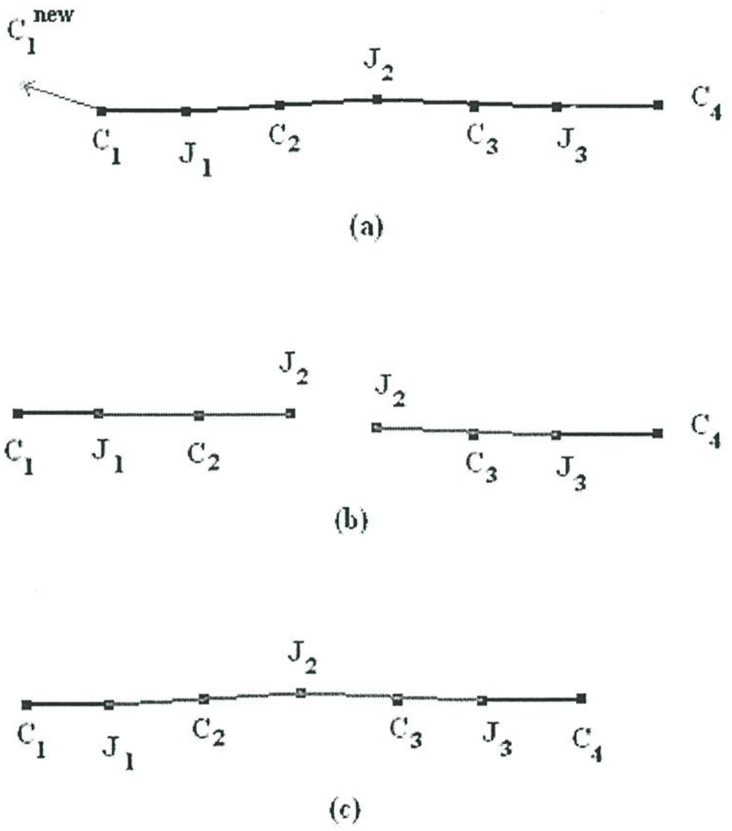
จากรูปที่4.3 G_{xi} และ G_{xj} เป็นเวกเตอร์ทิศทางของเส้นโครงร่าง เมื่อมีการเปลี่ยนตำแหน่งของจุด J_1 ทำให้ต้องมีการคำนวณหาจุดต่างๆเพื่อให้เส้นโครงร่างยังเป็นไปตามข้อกำหนด 2 ข้อที่กำหนดไว้ ซึ่งจะมีกระบวนการทำงานดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงกระบวนการ การคำนวณหาจุดต่างๆใหม่ ตามข้อกำหนด

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

จากรูปที่ 4.4 เมื่อมีการเปลี่ยนตำแหน่งของจุด C_1 และ เวกเตอร์ทิศทาง G_{11} ซึ่งตำแหน่งและทิศทางที่เปลี่ยนนั้นจะได้ข้อมูลมาจากถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งจากตำแหน่งและทิศทางที่ได้มานี้ จะทำให้สามารถคำนวณหาจุด J_1ใหม่ได้ เมื่อได้ J_1ใหม่แล้ว ต้องมาทำการตรวจสอบก่อนว่าระยะห่างระหว่าง J_1 และ J_3 นั้น มีค่ามากกว่าผลรวมของความยาวระหว่าง J_1 และ J_2กับ J_2 และ J_3 หรือไม่ ถ้ามากกว่า หมายความว่ามีการเปลี่ยนตำแหน่งของจุด J_1 ออกห่างออกไปมากกว่าความยาวเริ่มต้นของเส้นโครงร่าง ซึ่งขัดกับข้อกำหนดที่ได้กำหนดไว้ ดังตัวอย่างในรูปที่ 4.5



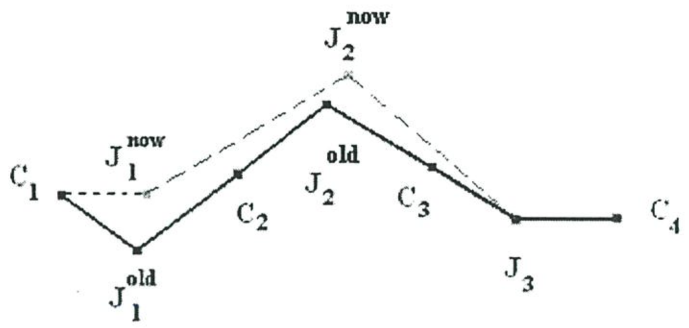
รูปที่ 4.5 แสดงตัวอย่างการย้ายจุด C_1 ที่ขัดกับข้อกำหนด

ในรูปที่ 4.5(a) แสดงการย้ายตำแหน่งของจุด C_1 ออกห่างออกไป ถ้าไม่มีการเช็คความยาวรวมจะเกิดกรณีดังในรูปที่ 4.5(b) ทำให้ไม่สามารถคำนวณหา J_2 ได้ เพื่อไม่ให้เกิดกรณีนี้ขึ้น จึงต้องมีการตรวจเช็คความยาวก่อน ดังนั้นเพื่อให้ยังคงเป็นไปตามข้อกำหนด จึงต้องมีการเลื่อนตำแหน่งของ J_3 และ C_4 ตามตำแหน่งของจุด C_1 ออกไปดังในรูปที่ 4.5(c)

แต่ถ้าความยาวรวมน้อยกว่า ให้ทำการคำนวณหาจุด J_2 ใหม่ โดยใช้หลักการของ Circle-Circle Intersection (หรือ Sphere-Sphere Intersection ในสามมิติ) ดังที่ได้แสดงไว้ในหัวข้อที่ 3.2.2

ซึ่งเส้นโครงร่างใหม่ที่คำนวณได้ แสดงตัวอย่างในรูปที่ 4.6

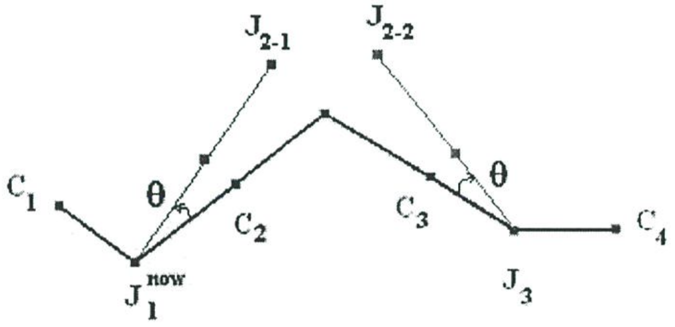
77951



รูปที่ 4.6 แสดงเส้นโครงร่างหลังจากที่มีการปรับเปลี่ยนแล้ว

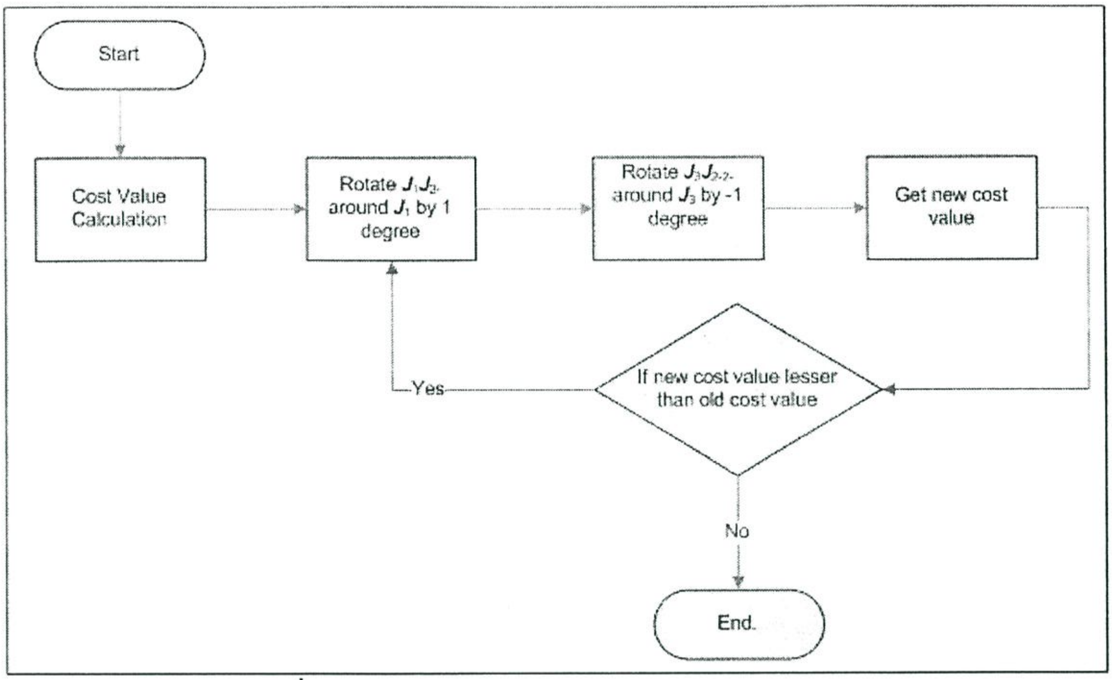
4.2.2.3 การแปลงโครงร่างกลับไปเป็นเส้นโค้งเบซิเยร์ (Skeleton Transform)

จากหัวข้อที่ 4.2.2.1 ได้อธิบายไว้แล้วว่า จุดควบคุมในส่วนประกอบย่อยที่ 2 ของเส้นโครงร่างนั้น จะถูกกำหนดโดยจุดควบคุม3ในการสร้างเส้นโครงร่างแต่เมื่อมีการแปลงกลับไปเป็นเส้นโค้งเบซิเยร์ จะถูกแปลงให้เป็น 4 จุด โดยการแบ่งจุด J_2 ออกเป็น 2 จุด ได้แก่ $J_{2\text{-}1}$ และ $J_{2\text{-}2}$ แล้วจากนั้น จะทำการหมุนเส้นโครงร่าง $J_1J_{2\text{-}1}$ รอบจุด J_1 และหมุน $J_2J_{2\text{-}2}$ รอบจุด J_3 เป็นหมุนเท่าๆกันดังที่แสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงการแยกจุด J_2 ออกเป็น $J_{2\text{-}1}$ และ $J_{2\text{-}2}$ โดยการหมุนเส้นโครงร่างรอบจุด J_1 และ J_3 ตามลำดับ เป็นมุม θ เท่ากัน

อย่างไรก็ตามเงื่อนไขที่นำมากำหนดมุมในการหมุนนั้นจะได้มาจากการคำนวณหาค่าความเสียหายที่น้อยที่สุด ตามสมการที่ (4.1) โดยมีกระบวนการดังในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แสดงกระบวนการคำนวณหาค่าความเสียหาย

บทที่ 5

ผลการทดลอง

5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด

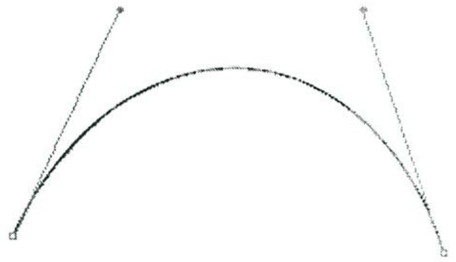
- เครื่องคอมพิวเตอร์ PC Intel Pentium 4 1.8 GHz
- ถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ (Cyber Glove) มือขวาชนิด 22 เซนเซอร์ [6] สำหรับใช้ติดต่อระหว่างผู้ใช้งานกับโปรแกรม
- อุปกรณ์บอกตำแหน่งแบบ 6 แกน (6 DOF Tracker) [7] จำนวน 1 เซนเซอร์
- โปรแกรมต้นแบบพัฒนาขึ้นเพื่อจำลองสภาวะแวดล้อมเสมือน ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดขึ้น โดยติดต่อกับถุงมืออิเล็กทรอนิกส์, อุปกรณ์บอกตำแหน่งแบบ 6 แกน และโปรแกรมจัดเก็บข้อมูล โดยพัฒนาจาก Microsoft Visual C++ 6.0
- Virtual Hand Library Version 2.4 [8]
- OpenGL Library 1.2

5.2 ผลการทดลอง

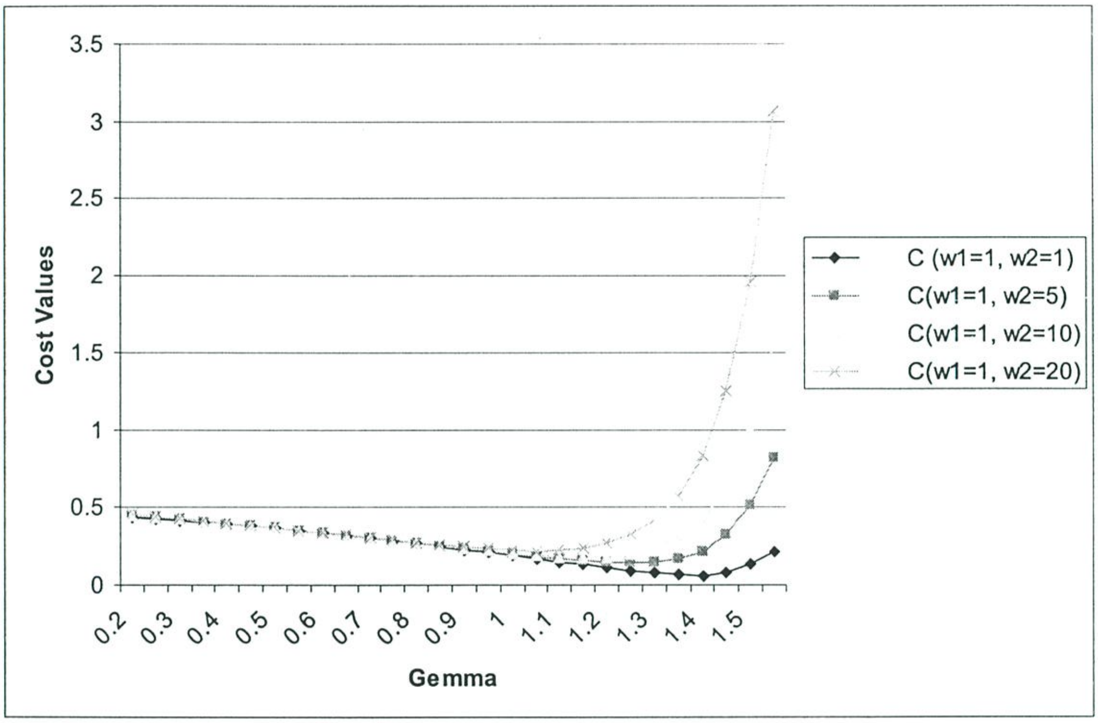
การทดลองแบ่งออกเป็น 4 การทดลอง คือ การทดลองเปรียบเทียบความแตกต่างที่เกิดขึ้นจากการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ w_1 และ w_2 การเปรียบเทียบระยะเวลาในการประมวลผลระหว่างการจำลองเชิงกายภาพเทียม กับ การจำลองเชิงกายภาพ การเปรียบเทียบความยากง่ายในการเรียนรู้ของผู้ใช้งานระหว่างการใช้งานการจำลองเชิงกายภาพเทียม กับ การปรับเปลี่ยนเส้นโค้งชนิดเบซิเยร์ และการเปรียบเทียบความใกล้เคียงในการสร้างรูปที่กำหนดของผู้ใช้งานระหว่างการจำลองเชิงกายภาพเทียม กับ การปรับเปลี่ยนเส้นโค้งชนิดเบซิเยร์

5.2.1 การทดลองเปรียบเทียบความแตกต่างที่เกิดขึ้นจากการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์

ในการทดลองนี้จะเป็นการเปรียบเทียบค่าความเสียหาย(Cost Value) ที่เกิดขึ้นจากการปรับพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนัก w_1 และ w_2 ของเส้นโค้งเบซิเยร์ 2 รูปแบบ คือเส้นโค้งเบซิเยร์แบบลู่เข้าและเส้นโค้งเบซิเยร์แบบลู่ออก

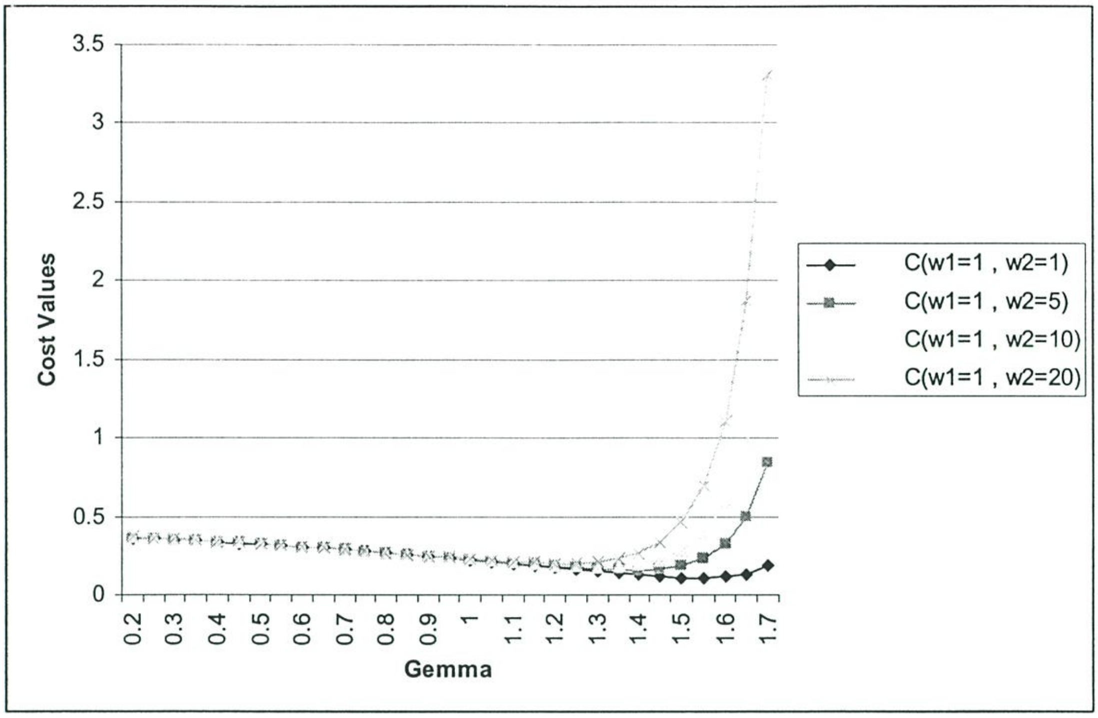


รูปที่ 5.1 แสดงเส้นโค้งเบซิเยร์แบบลู่เข้า



รูปที่ 5.2 แสดงกราฟการเปรียบเทียบระหว่างพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักค่าต่างๆ ของเส้นโค้งเบซิเยร์แบบลู่เข้า โดยที่แกน x คือ γ ตามสมการที่ (4.4) และ แกน y คือความเสียหายที่คำนวณได้ (Cost Value)

รูปที่ 5.3 แสดงเส้นโค้งเบซิเยร์แบบลู่ออก



รูปที่ 5.4 แสดงกราฟการเปรียบเทียบระหว่างพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักค่าต่างๆ ของเส้นโค้งเบซิเยร์แบบลู่ออก โดยที่แกน x คือ γ ตามสมการที่ (4.4) และ แกน y คือความเสียหายที่คำนวณได้ (Cost Value)

ในการทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อทดสอบเทคนิคการจำลองเชิงกายภาพเทียมว่าในแต่ละพารามิเตอร์นั้น จะให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างมากน้อยเพียงใด จากกราฟที่ได้แสดงในรูปที่ 5.2 และ 5.4 จะเห็นได้ว่า ณ จุดที่เป็นค่าต่ำสุดของค่าความเสียหาย (Cost Value) นั้น มีการเปลี่ยนแปลงตามค่าสัดส่วนของ w_1 และ w_2 ที่ได้กำหนดให้ เป็นผลทำให้รูปร่างของเส้นโค้งเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยเมื่อค่า w_2 มีค่ามากขึ้นก็จะแสดงความแตกต่างของเส้นโค้งได้มากยิ่งขึ้น และการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนดังกล่าวมีผลต่อรูปร่างของเส้นโค้งทั้งในกรณีที่เส้นโค้งเป็นแบบลู่เข้าและลู่ออก และเมื่อค่า w_2 มีค่ามากขึ้นก็จะแสดงความแตกต่างของเส้นโค้งได้มากยิ่งขึ้น

5.2.2 การเปรียบเทียบระยะเวลาในการประมวลผลระหว่างการจำลองเชิงกายภาพเทียม กับการจำลองเชิงกายภาพ

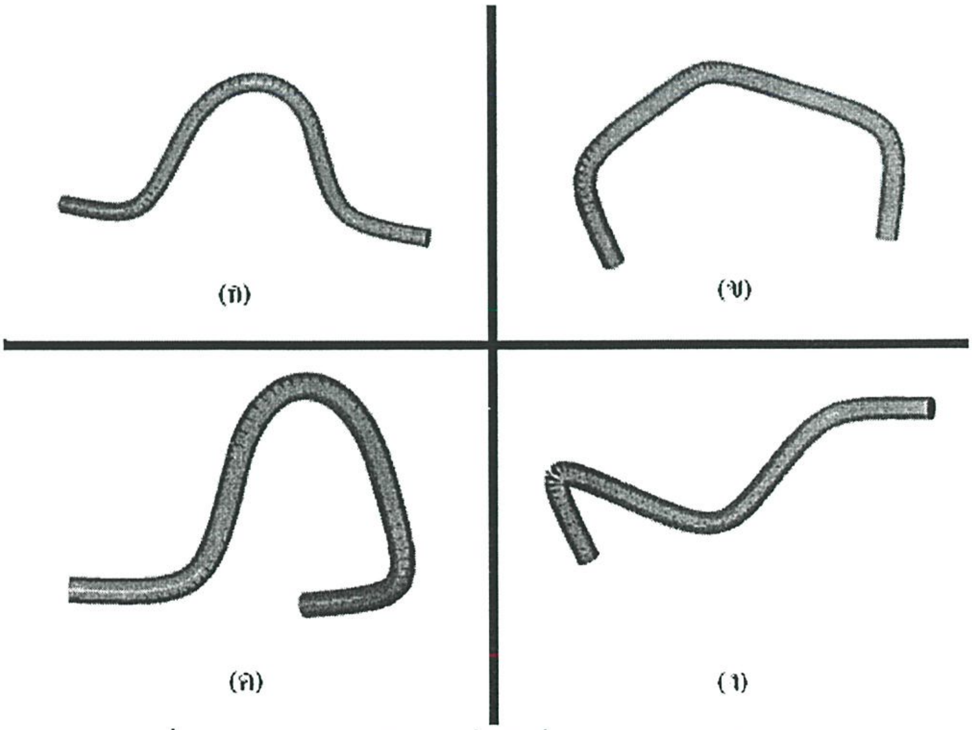
เป็นการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในแง่ของระยะเวลาในการประมวลผลการทำงาน โดยเป็นการทดลองย้ายตำแหน่งวัตถุ เมื่อใช้การจำลองเชิงกายภาพเทียม เปรียบเทียบกับการย้ายตำแหน่งวัตถุ เมื่อใช้การจำลองเชิงกายภาพ เป็นระยะทาง 30 เซนติเมตร โดยเริ่มจับเวลาเมื่อมือของผู้ทดลองไปจับวัตถุเสมือน จนไปสิ้นสุดเมื่อวัตถุเคลื่อนย้ายตำแหน่งมายังตำแหน่งใหม่ได้อย่างสมบูรณ์

ตารางที่ 5.1 แสดงเวลา(วินาที) ที่ใช้ในการย้ายตำแหน่งวัตถุเป็นระยะทาง 30 เซนติเมตร

การทดลองครั้งที่	การจำลองเชิงกายภาพเทียม	การจำลองเชิงกายภาพ
1	4.28	8.42
2	4.58	8.22
3	3.69	8.39
เวลาเฉลี่ย	4.18	8.34

จากการทดลองข้างต้น ระยะเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการประมวลผลการจำลองเชิงกายภาพเทียมอยู่ที่ 4.18 วินาที และระยะเวลาเฉลี่ยที่ใช้ประมวลผลการจำลองเชิงกายภาพจะอยู่ที่ 8.34 วินาที ซึ่งมีความแตกต่างกันมากกว่า 2 เท่า ซึ่งเป็นผลมาจากการจำลองเชิงกายภาพนั้น จำเป็นต้องมีการคำนวณผลที่เกิดขึ้นจากแรงกระทำที่ยังตกค้างอยู่ภายในวัตถุเสมือนอย่างต่อเนื่อง ถึงแม้ว่าแรงที่มากระทำกับวัตถุเสมือนจะหมดไปแล้วก็ตาม ซึ่งแตกต่างกับการจำลองเชิงกายภาพเทียมที่จะคำนวณหาตำแหน่งใหม่เพียงครั้งเดียวที่วัตถุมีแรงมากระทำนั้นเอง

5.2.3 การเปรียบเทียบความยากง่ายในการเรียนรู้การใช้งานของผู้ใช้งานระหว่างการใช้งานการจำลองเชิงกายภาพเทียมกับการปรับเปลี่ยนเส้นโค้งชนิดเบซิเยร์



รูปที่ 5.5 แสดงรูปทรงตัวอย่างที่ให้ผู้ที่ทำการทดลองสร้าง 4 แบบ

ในการทดลองนี้จะเป็นการวัดความยากง่ายในการเรียนรู้การใช้งานของผู้ใช้ในโปรแกรมสำหรับสร้างเส้นโค้งสามมิติโดยเป็นการเปรียบเทียบระหว่างการใช้การจำลองเชิงกายภาพเทียมในการสร้างเส้นโค้งสามมิติกับการสร้างเส้นโค้งชนิดเบซิเยร์ธรรมดา

ซึ่งในการทำลองนั้นจะมีการกำหนดรูปทรงของเส้นโค้งมาให้ จำนวน 4 แบบ ดังรูปที่ 5.5 ซึ่งเส้นโค้งต้นแบบนี้สร้างขึ้นมาโดยใช้วิธีการปรับเปลี่ยนเส้นโค้งชนิดเบซิเยร์และสร้างโดยใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาเอง และเป็นเส้นโค้งแบบ 3 ส่วนประกอบย่อย หลังจากนั้นจึงให้ผู้ทำการทดลองสร้างเส้นโค้งให้ใกล้เคียงกับรูปทรงที่กำหนดมาให้ โดยที่ลำดับในการสร้างรูปทรงแต่ละแบบของผู้ทำการทดลองแต่ละคนนั้นจะแตกต่างกันดังต่อไปนี้

ผู้ทำการทดลองคนที่ 1 มีลำดับการทดลองสร้างรูปแบบ (ก), (ข), (ค) และ (ง)

ผู้ทำการทดลองคนที่ 2 มีลำดับการทดลองสร้างรูปแบบ (ข), (ค), (ง) และ (ก)

ผู้ทำการทดลองคนที่ 3 มีลำดับการทดลองสร้างรูปแบบ (ค), (ง), (ก) และ (ข)

ผู้ทำการทดลองคนที่ 4 มีลำดับการทดลองสร้างรูปแบบ (ง), (ก), (ข) และ (ค)

โดยทำการจับเวลาที่ใช้ในการสร้างเส้นโค้งตั้งแต่เริ่มต้นสร้างเส้นโค้งจนถึงสร้างเส้นโค้งออกมาได้เหมือนกับเส้นโค้งต้นแบบที่กำหนดมาให้ ซึ่งความเหมือนของรูปทรงต้นแบบนั้นจะพิจารณาจากลักษณะการโค้งงอในตำแหน่งต่างๆให้ใกล้เคียงกับเส้นโค้งต้นแบบโดยไม่จำเป็นที่จะต้องให้เส้นโค้งที่สร้างขึ้นนั้นเหมือนกับเส้นโค้งต้นแบบมากนัก โดยผลการทดลองที่ได้ แสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 แสดงเวลา (วินาที) ที่ใช้ในการสร้างเส้นโค้งตามรูปแบบที่กำหนด 4 รูปแบบ

	รูปที่1		รูปที่ 2		รูปที่ 3		รูปที่ 4	
	Pseudo	Bezier	Pseudo	Bezier	Pseudo	Bezier	Pseudo	Bezier
ผู้ทดลองคนที่ 1	9.98	56.09	23.47	46.30	15.98	61.56	23.64	67.30
ผู้ทดลองคนที่ 2	8.72	42.38	18.05	52.34	9.11	59.13	25.84	62.50
ผู้ทดลองคนที่ 3	10.02	38.44	12.95	57.38	11.88	57.27	25.80	67.16
ผู้ทดลองคนที่ 4	9.25	37.41	15.66	61.50	11.83	51.86	29.53	75.50
ค่าเฉลี่ย	9.49	43.58	17.53	54.38	12.20	57.46	26.20	68.16
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.5411	7.4570	3.8738	5.6820	2.4533	3.5705	2.1173	4.6811

จากตารางการทดลองข้างต้น พบว่าการสร้างเส้นโค้งโดยใช้วิธีการจำลองเชิงกายภาพเทียมนั้นจะใช้เวลาน้อยกว่าการสร้างเส้นโค้งโดยใช้เส้นโค้งชนิดเบซิเยร์ธรรมดาอยู่ค่อนข้างมาก โดยสังเกตจากระยะเวลาเฉลี่ยของในแต่ละรูปแบบนั้น ค่าเฉลี่ยของวิธีการจำลองเชิงกายภาพเทียมนั้น

จะน้อยกว่าค่าเฉลี่ยของวิธีเส้นโค้งเบซิเยร์ อีกทั้ง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานก็แสดงให้เห็นว่าวิธีการจำลองเชิงกายภาพเทียมนั้น แสดงว่ามีการกระจายของข้อมูลน้อยกว่าอีกด้วย

หมายเหตุ

ในการทดลองนี้จะให้ผู้ที่ทำการทดลองเป็นผู้วินิจฉัยเองว่าเส้นโค้งที่สร้างขึ้นนั้นเหมือนกับเส้นโค้งต้นแบบและหยุดจับเวลาเมื่อใด ซึ่งอาจจะมีผลทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของเวลาในผู้ทำการทดลองแต่ละคนได้ แต่อย่างไรก็ดีเมื่อพิจารณาเวลาที่ใช้ในการสร้างรูปทรงเดียวกันแต่ต่างวิธีการของผู้ทดลองคนเดียวกัน จะเห็นได้ว่าระยะเวลาที่ใช้มีความแตกต่างกันมาก จึงพอจะตัดความผิดพลาดอันเนื่องมาจากการพิจารณาความเหมือนของผู้ทำการทดลองแต่ละคนออกไปได้

5.2.4 การเปรียบเทียบความใกล้เคียงในการสร้างรูปที่กำหนดของผู้ใช้งานระหว่างการจำลองเชิงกายภาพเทียมกับการปรับเปลี่ยนเส้นโค้งชนิดเบซิเยร์

ในการทดลองนี้จะเป็นการเปรียบเทียบความใกล้เคียงของเส้นโค้งที่สร้างขึ้นระหว่างวิธีการจำลองเชิงกายภาพเทียมกับเส้นโค้งเบซิเยร์ทั่วไป ซึ่งเส้นโค้งต้นแบบนี้สร้างขึ้นมาโดยใช้วิธีการปรับเปลี่ยนเส้นโค้งชนิดเบซิเยร์และสร้างโดยใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาเอง และเป็นเส้นโค้งแบบ 3 ส่วนประกอบย่อย โดยมีรูปแบบเหมือนกับการทดลองที่ 5.2.3 ตามรูปที่ 5.5 โดยค่าที่ใช้วัดความใกล้เคียงระหว่างเส้นโค้งทั้ง 2 เส้นนั้นโดยกำหนดให้

$\boldsymbol{P1_i}$ คือจุดควบคุมของเส้นโค้งต้นแบบที่สร้างโดยใช้เส้นโค้งชนิดเบซิเยร์ และ ให้ i มีค่าทั้งแต่ 0 ถึง N

$\boldsymbol{P2_i}$ คือจุดควบคุมของเส้นโค้งที่สร้างโดยใช้การจำลองเชิงกายภาพเทียม และ ให้ i มีค่าทั้งแต่ 0 ถึง N

และ S คือค่าความใกล้เคียง ซึ่ง S จะมีค่าเข้าใกล้ 0 ถ้ามีความใกล้เคียงกันมาก ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการ (5.1)

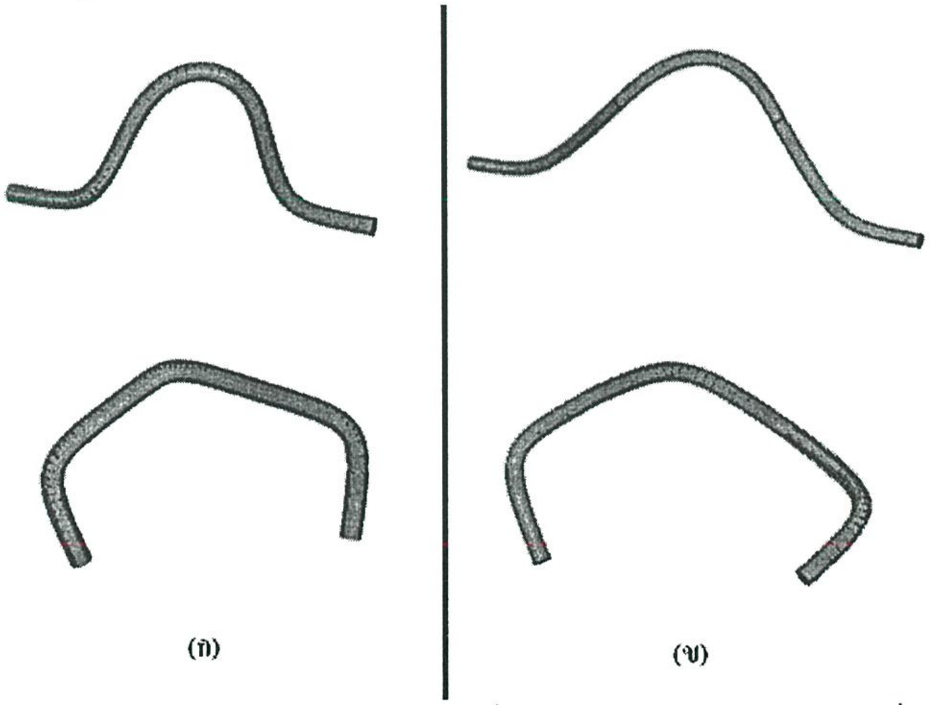
$$S = \left| \sum_{i=0}^{N-1} \left\| \boldsymbol{P1}_i - \boldsymbol{P1}_0 \right\| - \left[\left\| \boldsymbol{P2}_i - \boldsymbol{P2}_0 \right\| * \frac{\left\| \boldsymbol{P1}_N - \boldsymbol{P1}_0 \right\|}{\left\| \boldsymbol{P2}_N - \boldsymbol{P1}_0 \right\|} \right] \right| \tag{5.1}$$

ซึ่งในการทดลองเริ่มแรกต้องทำการเก็บค่าจุดควบคุมของรูปต้นแบบทั้ง 4 แบบก่อน จากนั้นจึงทำการทดลองโดยใช้การจำลองเชิงกายภาพเทียมสร้างเส้นโค้งขึ้นมาใหม่ ให้มีค่าความใกล้เคียง ให้มีค่าใกล้ 0 มากที่สุด ซึ่งจะได้ผลการทดลองดังตารางที่ 5.3

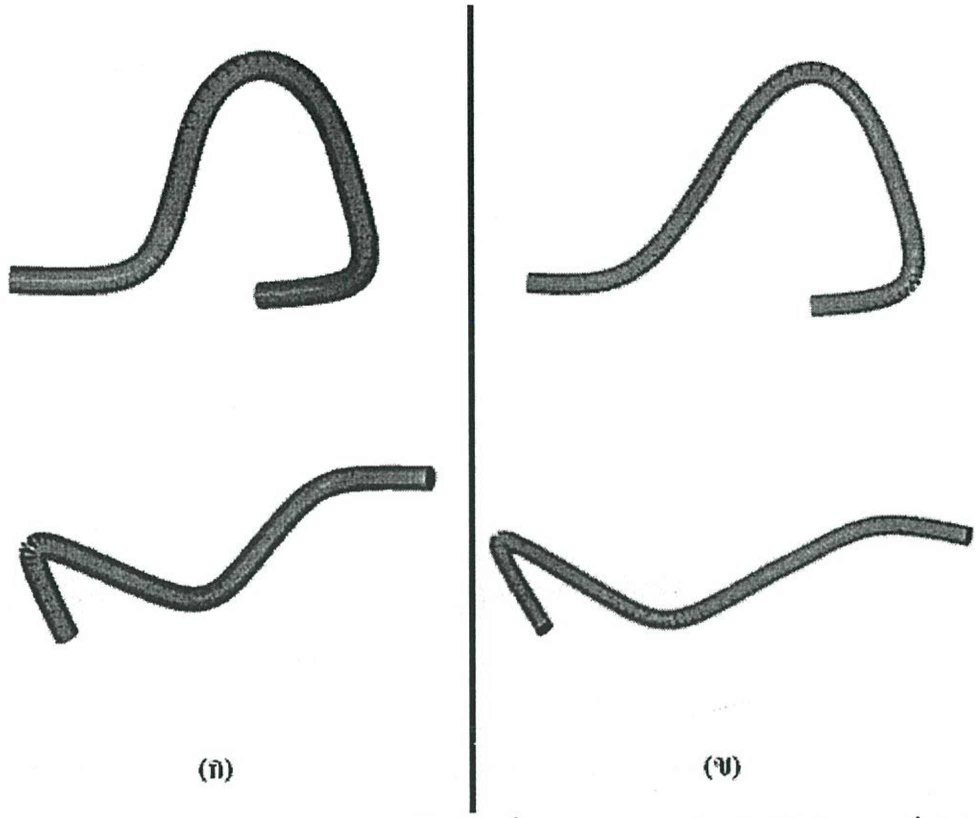
ตารางที่ 5.3 แสดงการเปรียบเทียบความใกล้เคียงระหว่างเส้นโค้งที่สร้างโดยวิธีการจำลองเชิงกายภาพเทียมกับเส้นโค้งชนิดเบซิเยร์ทั่วไป

รูปต้นแบบ	ค่าความใกล้เคียง
1	0.150
2	0.735
3	11.168
4	36.705

จากตารางการทดลองข้างต้นแสดงให้เห็นว่าในรูปแบบที่ 1 และ 2 นั้น มีค่าความใกล้เคียงใกล้กับ 0 ซึ่งหมายความว่าเส้นโค้งที่สร้างขึ้นจากวิธีการจำลองเชิงกายภาพเทียมสร้างเส้นโค้งนั้นมีความใกล้เคียงกับการสร้างเส้นโค้งเบซิเยร์ทั่วไป แต่ในรูปแบบที่ 3 ค่าความใกล้เคียงมีค่าค่อนข้างมาก เป็นการแสดงว่าสามารถสร้างเส้นโค้งโดยวิธีการจำลองเชิงกายภาพเทียมได้แต่จะมีความแตกต่างจากการสร้างโดยใช้เส้นโค้งเบซิเยร์ทั่วไปอยู่ในบ้างส่วน และถ้าพิจารณาค่าความใกล้เคียงในรูปแบบที่ 4 ซึ่งมีค่าความใกล้เคียงสูงมาก แสดงให้เห็นว่ารูปทรงในแบบที่ 4 ไม่สามารถที่จะสร้างได้โดยใช้วิธีการจำลองเชิงกายภาพเทียมให้ใกล้เคียงกับการสร้างด้วยเส้นโค้งชนิดเบซิเยร์ทั่วไปได้ ซึ่งในรูปแบบที่ 4 นั้นเป็นเส้นโค้งที่มีความซับซ้อนมากกว่ารูปแบบอื่นๆ ทำให้การจำลองเชิงกายภาพเทียมไม่สามารถสร้างเส้นโค้งในรูปแบบนี้ให้ใกล้เคียงกับรูปต้นแบบได้ ดังแสดงเปรียบเทียบในรูปที่ 5.6 – 5.7



รูปที่ 5.6 แสดงการเปรียบเทียบรูปทรงเส้นโค้งแบบที่ 1 และ 2 (ก) เป็นเส้นโค้งต้นแบบที่สร้างโดยเส้นโค้งชนิดเบซิเยร์ (ข) เป็นเส้นโค้งที่สร้างโดยใช้วิธีการจำลองเชิงกายภาพเทียม



รูปที่ 5.7 แสดงการเปรียบเทียบรูปทรงเส้นโค้งแบบที่ 3 และ 4 (ก) เป็นเส้นโค้งต้นแบบที่สร้างโดยเส้นโค้งชนิดเบซิเยร์ (ข) เป็นเส้นโค้งที่สร้างโดยใช้วิธีการจำลองเชิงกายภาพเทียม

บทที่ 6
สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

การจำลองโมเดลสามมิติสามารถกระทำได้ ใน 2 รูปแบบคือการจำลองในลักษณะของรูปทรงหลายเหลี่ยม (Polygon) และ การจำลองโดยอาศัยเส้นโค้งด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ (Parametric Curve) ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการจำลองเชิงกายภาพเทียมซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในลักษณะที่ 2 โดยการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยาวและความโค้งของเส้นโค้ง ตลอดจนข้อกำหนดในด้านค่าต่ำสุดและสูงสุดของความยาวและความโค้งเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของเส้นโค้ง ซึ่งการจำลองเส้นโค้งในลักษณะของ 1 ส่วนประกอบย่อยนั้นสามารถนำค่าความยาวและความโค้งของเส้นโค้งมาใช้กำหนดคุณสมบัติ ดังที่แสดงในการทดลองที่ 5.1 ซึ่งจุดที่มีค่าความเสียหาย (Cost Value) ต่ำสุดดังที่แสดงในกราฟที่ 5.2 และ 5.4 นั้นจะเป็นจุดที่นำมาใช้สร้างเส้นโค้งให้มีลักษณะที่แตกต่างกันได้

อย่างไรก็ตามเส้นโค้งแบบมี 1 ส่วนประกอบย่อย ไม่สามารถที่จะสร้างเส้นโค้งให้มีความหลากหลายได้มากนัก ดังนั้นจึงได้พัฒนาการจำลองเชิงกายภาพเทียมในลักษณะของหลายเส้นโค้งย่อยขึ้นมา แต่การจำลองเชิงกายภาพเทียมแบบหลายเส้นโค้งย่อยนั้นไม่สามารถจะนำสมการของแบบ 1 เส้นโค้งย่อยมาใช้ได้ในทันที แต่ต้องประยุกต์โดยการสร้างเส้นโครงร่างขึ้นมาก่อน จากนั้นจึงนำความสัมพันธ์ระหว่างความยาวและความโค้งมาใช้กำหนดคุณสมบัติของเส้นโค้งอีกครั้งหนึ่ง ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 4

จากการทดลองพบว่าการจำลองเชิงกายภาพเทียมนั้นสามารถช่วยลดระยะเวลาในการประมวลผลเมื่อเปรียบเทียบกับการจำลองเชิงกายภาพลงได้ค่อนข้างมาก อีกทั้งยังช่วยลดระยะเวลาที่ต้องใช้ในการเรียนรู้การใช้งานเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เส้นโค้งชนิดเบซิเยร์ปกติได้ ดังที่แสดงในการทดลองที่ 5.3-5.4 ก็ยังแสดงให้เห็นว่าการจำลองเชิงกายภาพเทียมนั้นสามารถที่จะสร้างเส้นโค้งที่มีลักษณะใกล้เคียงกับที่สร้างโดยใช้เส้นโค้งเบซิเยร์ปกติได้ แต่อย่างไรก็ตามในการทดลองที่ 5.4 พบข้อจำกัดของการจำลองเชิงกายภาพเทียมที่ไม่สามารถสร้างเส้นโค้งที่มีรูปทรงซับซ้อนและหลากหลายรูปแบบได้ รวมทั้งความแม่นยำของอุปกรณ์ก็เป็นอีกข้อจำกัดหนึ่งที่ทำให้การจำลองเชิงกายภาพเทียมเสียเปรียบกว่าการใช้การปรับเปลี่ยนเส้นโค้งเบซิเยร์ปกติ

6.2 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิทยานิพนธ์นี้ ได้แสดงให้เห็นถึงวิธีที่ช่วยลดระยะเวลาในการเรียนรู้ในการสร้างแบบจำลองวัตถุเสมือนของผู้ใช้งาน โดยเลียนแบบการตอบสนองของวัตถุในธรรมชาติ เพียงแต่

ไม่ได้นำการจำลองเชิงกายภาพมาใช้ อันเนื่องมาจากการจำลองเชิงกายภาพนั้น จะใช้ระยะเวลาในการประมวลผลค่อนข้างมาก อีกทั้งการจำลองเชิงกายภาพยังทำให้วัตถุเสมือนสูญเสียคุณสมบัติความยืดหยุ่นที่วัตถุเสมือนควรจะมี เช่นรูปทรงบางรูปทรงนั้นไม่สามารถสร้างขึ้นได้ด้วยวิธีการจำลองเชิงกายภาพ อย่างไรก็ตามการจำลองเชิงกายภาพเทียมที่ได้พัฒนาขึ้นในวิทยานิพนธ์นี้ ใช้ได้กับวัตถุที่มีลักษณะเป็นเส้นเชือกเท่านั้น ถ้าต้องการจะนำไปใช้กับวัตถุเสมือนรูปทรงแบบอื่นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ใน 2 ลักษณะ คือ นำไปประยุกต์ใช้กับวัตถุเสมือนที่สร้างขึ้นมาจากพื้นผิวชนิดเบซิเยร์ (Bezier Surface) ซึ่งพื้นผิวชนิดนี้สามารถสร้างขึ้นได้จากสมการของเส้นโค้งเบซิเยร์อยู่แล้ว ดังนั้นการนำไปประยุกต์ใช้จะมีการปรับเปลี่ยนสมการไม่มากนัก แต่อาจจะใช้การประมวลผลค่อนข้างมาก หรือ นำไปประยุกต์ใช้โดยนำไปสร้างเป็นโครงร่าง (skeleton) ของแบบจำลอง โดยใช้วิธีที่เสนอใน [3] สำหรับสร้างโครงร่างขึ้นมาจากแบบจำลองของวัตถุก่อนจากนั้นจึงนำการจำลองเชิงกายภาพเทียมที่แสดงในวิทยานิพนธ์นี้ไปใช้ปรับเปลี่ยนลักษณะของโครงร่างที่สร้างขึ้นมานั้นอีกทีหนึ่ง ซึ่งการประยุกต์ใช้ในทั้ง 2 ลักษณะนั้น จะช่วยให้สามารถนำเทคนิคการจำลองเชิงกาพเทียมที่พัฒนาขึ้นในวิทยานิพนธ์นี้ สามารถนำไปใช้งานได้จริงและหลากหลายมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ แนวทางการพัฒนาต่อเนื่องจากงานวิจัยที่เสนอมีดังต่อไปนี้

- การเพิ่มพารามิเตอร์ควบคุมให้สามารถทำงานร่วมกับเส้นโค้งแบบ 3 ส่วนประกอบย่อย ซึ่งจากอัลกอริทึมที่แสดงในบทที่ 4 นั้นสามารถทำงานได้ดีสำหรับเส้นโค้งแบบ 1 ส่วนย่อย แต่สำหรับในกรณีของ 3 ส่วนประกอบย่อยนั้น พารามิเตอร์ที่ควบคุมจะแสดงผลลัพธ์ให้เห็นถึงความแตกต่างได้ดีสำหรับใน 2 มิติเท่านั้น เมื่อนำมาใช้กับเส้นโค้งแบบสามมิติกลับแสดงความแตกต่างระหว่างค่าพารามิเตอร์ได้น้อยมาก และในบางค่าพารามิเตอร์ยังทำให้โปรแกรมทำงานผิดพลาดไปเลยอีกด้วย ดังนั้นงานวิจัยที่จะพัฒนาต่อเนื่องไปจากงานวิจัยนี้จะต้องมีการปรับปรุงอัลกอริทึมให้สามารถใช้งานในกรณีเส้นโค้งแบบ 3 ส่วนย่อยได้
- รูปแบบการเชื่อมต่อระหว่างเส้นโค้งแบบ 3 ส่วนประกอบย่อยหลายๆชิ้น ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงการใช้งานเส้นโค้งแบบ 3 ส่วนประกอบย่อยเพียง 1 เส้นเท่านั้น จึงทำให้มีข้อกัดที่ไม่สามารถสร้างเส้นโค้งให้มีรูปทรงที่ซับซ้อนมากได้ การที่จะทำให้เส้นโค้งมีความซับซ้อนมากขึ้นได้ ต้องมีการเพิ่มจำนวนของเส้นโค้งให้มากขึ้น แต่การเพิ่มเส้นโค้งให้มากขึ้น ต้องมีการคำนึงถึงรูปแบบของการเชื่อมต่อระหว่างเส้นโค้งด้วยว่ามีความต่อเนื่องของเส้นโค้งมากน้อยเพียงใดซึ่งรูปแบบของการเชื่อมต่อก็มีได้หลายรูปแบบ ดังนั้นงานวิจัยที่จะพัฒนาต่อจากงานวิจัยนี้ต้องพิจารณาถึงรูปแบบของการเชื่อมต่อเหล่านี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] Kevin T. Mcdonnell , Houng Qin and Robert A. Wlodarczyk, "Virtual Clay : A Real-time Sculpting System with Haptic Toolkits" **ACM** Symposium on Interactive 3D Graphics, New York, USA , pp. 179 - 190 , 2001.

[2] Ignacio Llamas , Alexander Powell , Jarek Rossignac , Chris D. Shaw , "Bender: A Virtual Ribbon for Deforming 3D Shapes in Biomedical and Styling Applications" , **ACM Symposium on Solid and Physical Modeling(SPM'05)** , Cambridge, Massachusetts ,pp. 89 - 99 , 2005.

[3] Wan-Chun Ma , Fu-Che Wu , Ming Ouhyoung , "Skeleton Extraction of 3D Objects with Radial Basis Function" , **Shape Modeling International (SMI 2003)**, Seoul, Korea, pp. 207-215 ,2003.

[4] "Circle-Line Segment Intersection", http://mathworld.wolfram.com/Circle-LineIntersection.html , 2004

[5] "Circle-Circle Intersection", http://mathworld.wolfram.com/Circle-CircleIntersection.html , 2004

[6] Virtual Technologies , Inc. **VirtualHand® v2.5 User's Guide**. 2001.

[7] Polhumus , Inc. **3SPACE® User's Manual.** May 1993.

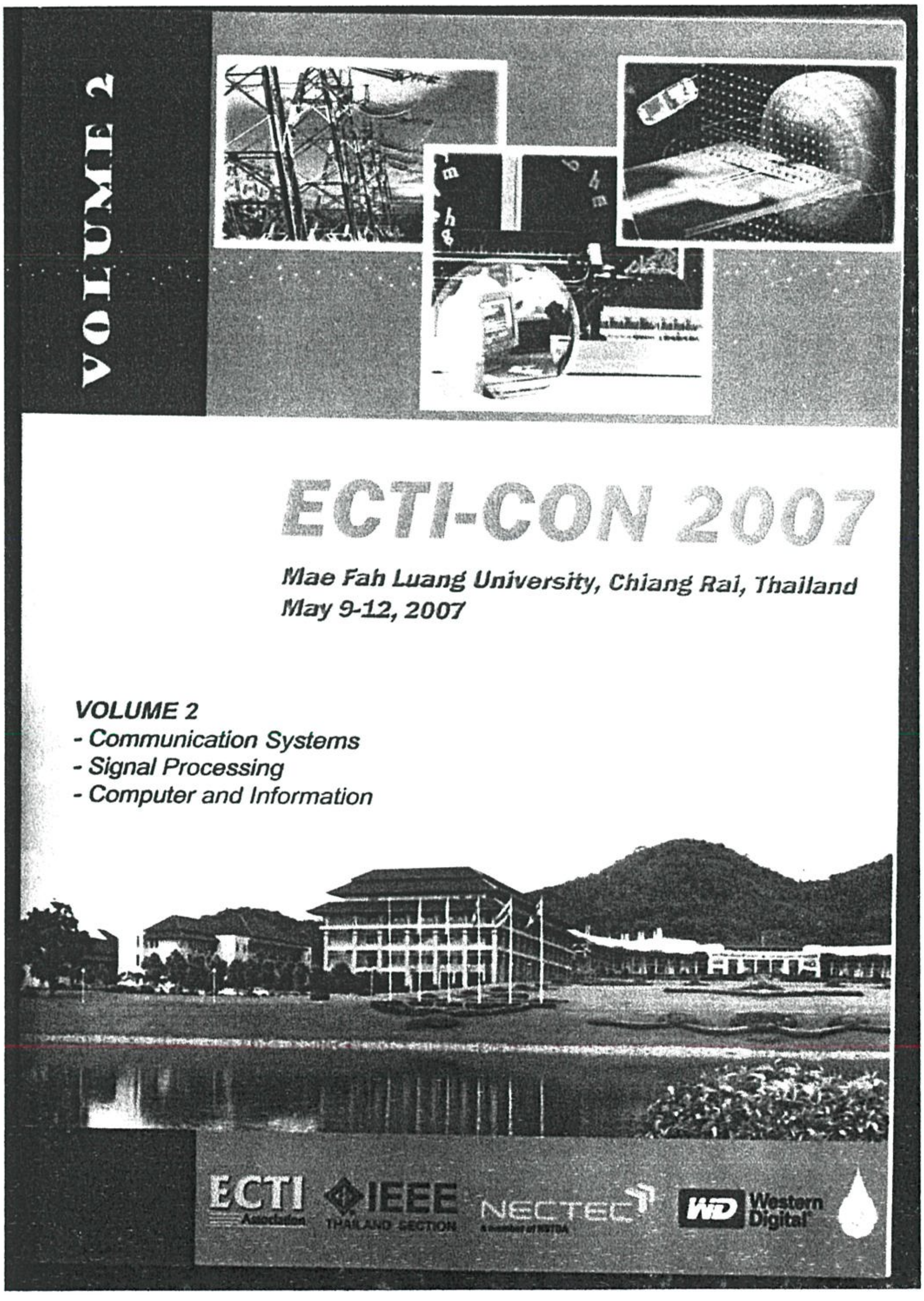
[8] Virtual Technologies, Inc. **VirtualHand® Software Library Reference Manual.** 1998

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

บทความและผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

Pathawut Pichaichanlert and Nopporn Chotikakamthorn. "Direct Manipulation of 3D Curves with Pseudo- Physical Simulation Model", Electronic , Computer , Telecommunications , and Information Technology Conference , ECTI-CON 2007. pp. 1089-1093.



Direct Manipulation of 3D Curves with Pseudo-Physical Simulation Model

Pathawut Pichaichanlert and Nopporn Chotikakamthorn
Faculty of Information Technology and
Research Center for Communications and Information Technology
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand
Tel: +66-2-326-4331, Fax: +66-2-326-4332
E-mail: patha_wut@hotmail.com

***Abstract* - The task of 3D-object modeling is made difficult due to at least two reasons. First, 3D modeling software generally has a high learning curve due to its complicated commands. Secondly, object manipulation is generally unnatural. A 3D direct manipulation with physically based simulation is one such solution. However, use of physically based simulation for this purpose is inappropriate due to its high computational complexity, and reduction in design flexibility. This paper presents a gesture-based 3D-manipulation technique where a 3D object responses to manipulation according to certain parameters. By adopting a pseudo-physical simulation approach, complexity requirement is lower than a physically based approach. In addition, a user still gains flexibility and efficiency in manipulation an object. The pseudo-physical simulation model is described for a Bezier curve object type. Extension to other object types is achieved by requiring that an object skeleton is modeled by a curve segment(s). The simulation model imposes two types of pseudo-physical constraints onto a curve, namely the length and bending angle constraints. A prototype of a 3D-curve-modeling tool has been developed. By adjusting a combination of model parameters, curves can reflect differences in the associated physical properties by being shaped differently to the same gesture-based manipulation.**

I. INTRODUCTION

Currently, 3D modeling has been widely used for various applications. Depending on an interaction technique adopted, as well as the underlying virtual object mathematical model, ease of use of a 3D modeling tool may vary. Direct manipulation based on a 2-D mouse is universally used in current 3D modeling tools as a principal interaction technique. However, in using a 2D-pointing device for 3D virtual object manipulation, a mouse-keyboard compound command is generally required. This can affect ease of learning and usage retention. In addition, 3D virtual objects are based on either a mathematical model of parametric curve, or a polygon model. With such models, virtual objects generally response to manipulation in a way that is quite different from real objects. Thus, time is required to develop a skill needed to efficiently model an object so that it has an intended shape.

A technique of 3D direct manipulation has been proposed for various virtual reality and simulation applications, to provide a more natural human computer interaction. This can result in reduced learning time. Currently, many VR devices have been developed for 3D direct manipulation techniques. An electronic glove is perhaps the most widely used VR device for such purpose because it allows gesture-based interaction to be performed. It is this type of VR device that is applied for our study.

In addition to an interaction technique used, a mathematical model of a virtual object also affects how natural the interaction experience is. To allow virtual objects to react more naturally to user manipulation action, physically based rules may be applied in performing shape manipulation [1-2]. In [1], a virtual spring model is used to make object manipulation more realistic. In [2], a different physically based model is applied so those virtual 3D objects behave more like a real object. In [3], direct manipulation using physically based sculpting with B-spline surface is developed to simplify object manipulation. However, such physically based simulations generally require high computation, and may be inappropriate for interaction applications. In addition, such physical rules impose a rigid constraint on how virtual objects are manipulated, and thus reducing design flexibility.

In this paper, use of a gesture-based 3D direct manipulation technique in combination with a pseudo-physical simulation model is proposed for 3D-curve modeling. Gesture-based interaction has been proposed for 3D-curve manipulation [4-5]. For example, in [4], a specialized input device called ShapeTape is used to obtain a shape of a tangible stripe object in controlling a computer-generated curve. Such approach is, however, inflexible for its degree of freedom is limited by the input device physical characteristics. Instead, an electronic glove is adopted in this paper to achieve more flexibility in performing object manipulation. The pseudo-physical simulation method is applied in defining the shape of a manipulated curve. The model used is composed of two pseudo-physical constraints imposed on a curve object With this simulation model, by varying the model parameters, 3D curves can behave differently to the same manipulation to

mimic different types of string material (such as robe or wire). The technique can also be extended to model 3D surface object shapes by using the skeleton technique [6].

The rest of the paper is organized as follows. In section 2, a 2D direct manipulation technique for Bezier curve modeling is described. In section 3, a 3D direct manipulation technique for Bezier curve is given. In section 4, detail of the pseudo-physical simulation method is provided. The modeling tools developed under the proposed method with results are explained in section 5. The paper ends with some concluding remarks.

II. 2D Direct manipulation of a Bezier curve

A. Bezier curve

Bezier curve is defined by control points, which in turn define shape and characteristic of a curve. Four control points are used here for a Bezier curve. Such cubic Bezier curve will refer to simply as a Bezier curve. Points on the curve can be obtained according to the following equation.

$$R(t) = (1-t)^3P_0 + 3t(1-t)^2P_1 + 3t^2(1-t)P_2 + t^3P_3 \quad (1)$$

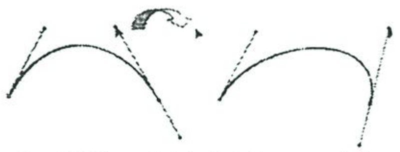


Figure 1. 2D direct manipulation of a Bezier curve as typically performed by a drawing tool

From the equation, P_0, P_1, P_2, P_3 are four control points (which are represented here as vectors from the origin).

B. Direct manipulation of a Bezier curve

Usually direct manipulation of a Bezier curve is performed at its control points. In 2D direct manipulation, a pointing device (e.g., a mouse) is used to manipulate the control points. Figure 1 illustrates how a Bezier curve is typically manipulated in a 2D graphic drawing tool.

C. Multiple-segment Bezier curve

Bezier curve can be used to represent many shapes. However, many of them cannot be well represented by a single curve segment. In that case, multiple segments of Bezier curve are used to represent complex shapes. If two or more segments are directly combined, however, it will result in discontinuity at the intersection.

Let s_1 and s_2 be the first and second consecutive segments, respectively. Bezier curve is continuous if the following condition is met.

$$P_{3s1-1} - P_{3s1} = -(P_{3s2-2} - P_{3s1}) \quad (2)$$

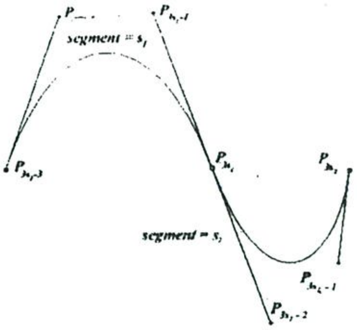


Figure 2. Preserving continuity at the intersection of two Bezier segments.

D. Bezier curve fragmentation

Fragmentation is an algorithm for splitting one segment into two segments, to realize a more complex curve. From definition of De Casteljau's algorithm [7], a polynomial $B(t)$ in Bernstein form of degree n can be expressed as

$$B(t) = \sum_{i=0}^{n} \beta_i^{(0)} b_{i,n}(t), \in [0,1] \quad (3)$$

where $b_{i,n}$ is a Bernstein basis polynomial. The polynomial at point t can be evaluated with the following recurrence relation.

$$\beta_i^{(0)} = \beta_i, i = 0,..,n \quad (4)$$

$$\beta_i^{(j)} = \beta_i^{j-1}(1-t) + \beta_{i+1}^{j-1}t, i = 0,..,n-j, j = 1,..,n \quad (5)$$

where

$$B(t) = \beta_0^n \quad (6)$$

When choosing a point t_0 to evaluate a Bernstein polynomial, we can use the two diagonals of the triangle scheme to construct a division of the polynomial in (3) into

$$B_1(t) = \sum_{i=0}^{n} \beta_0^i b_{i,n}\left(\frac{t}{t_0}\right), \in [0,t_0] \quad (7)$$

and

$$B_2(t) = \sum_{i=0}^{n} \beta_{n-i}^i b_{i,n}\left(\frac{t-t_0}{1-t_0}\right), \in [t_0,1] \quad (8)$$

Figure 3. Bezier curve fragmentation at t_0

III. 3D DIRECT MANIPULATION OF A BEZIER CURVE

Here, 3D direct manipulation technique for curve shaping is performed through an electronic glove device using gesture-based human-computer interaction technique.

A. *Gesture-based direct manipulation of a Bezier curve*

A gesture-based direct manipulation technique was developed to model a Bezier curve. By using a (one or two-handed) electronic glove device, hand position and orientation are used to control the curve parameters. In particular, the hand position is used to control the position of P_1 (P_2), while its orientation (denoted by unit vectors V_1 V_2) is used to control the control point direction. See Figure 4 for illustration.

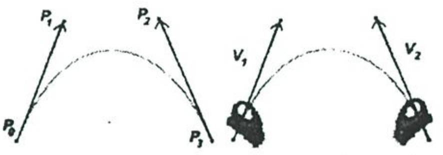


Figure 4. Manipulation of control parameters of a Bezier curve using hand position and orientation

This control can be expressed mathematically by the following equations.

$$P_1 - P_0 = \alpha V_1 \qquad (9)$$

$$P_2 - P_3 = \beta V_2 \qquad (10)$$

Only the direction part of the above equations is controlled by a hand orientation. The length parameters (α and β) are controlled by the two pseudo-physical constraints to be explained later.

By substituting (9)-(10) into (1), we arrive at

$$\begin{aligned} R(t) &= (t-1)^2(2t-1)P_0 + 3t(1-t)^2\alpha V_1 \\ &+ 3t^2(1-t)\beta V_2 + t^2(3-2t)P_3 \end{aligned} \qquad (11)$$

where α and β are control parameters, whose values are obtained under the pseudo-physical constraints to be described shortly.

B. *Collision detection*

To perform 3D direct manipulation, collision between an electronic glove device and the object under manipulation must be detected. Here, a simple spherical shape with its center at a user palm is used as a collision proxy. In addition, line segments are used in rendering of a Bezier curve. Thus, collision point is calculated by using the method of line segment-sphere intersection [8].

From method of line segment-sphere intersection, $R(t_1)$ and $R(t_2)$ is start and end point of line segment that collides with sphere.

C. *Curve control parameter mapping*

As previously stated, a Bezier curve is manipulated by changing its control-point parameters. However, it is the hand orientation and position that are measured when gesture-based direct manipulation is applied. Therefore, there is a need to map the measured hand position and orientation to Bezier curve parameters. To do this, consider first Figure 4. From the figure and (9) - (10), the control points' positions and orientations are defined by P_0, P_3, V_1, V_2, α, and β. The left and right hand positions can be directly mapped to P_0 and P_3, respectively. In addition, hand orientations can be directly mapped to V_1, and V_2.

$$\begin{aligned} a_1 &= (1-t_1)^2(1+2t_1) & a_2 &= (1-t_2)^2(1+2t_2) \\ b_1 &= 3t_1(1-t_1)^2 & b_2 &= 3t_2(1-t_2)^2 \\ c_1 &= 3t_1^2(1-t_1) & c_2 &= 3t_2^2(1-t_2) \\ d_1 &= t_1^2(3-2t_1) & d_2 &= t_2^2(3-2t_2) \end{aligned} \qquad (12)$$

$R(t_1)$ and $R(t_2)$ are points on Bezier curve that collide with user hand(s) using a collision detection method as described in Section III-*B*. From this, the vector V_1 and V_2 can be calculated from

$$V_1 = \frac{1}{\alpha}\frac{c_2R(t_1) - c_1R(t_2) + (a_2c_1 - a_1c_2)P_0 + (c_1d_2 - c_2d_1)P_3}{b_1c_2 - b_2c_1} \qquad (13)$$

$$V_2 = \frac{1}{\beta}\frac{b_2R(t_1) - b_1R(t_2) + (a_2b_1 - a_1b_2)P_0 + (b_1d_2 - b_2d_1)P_3}{b_2c_1 - b_1c_2} \qquad (14)$$

With the above equations, all curve parameters except α and β are mapped from user hand positions and orientations. These two parameters are obtained by imposing pseudo physical constraints as described next.

D. *Pseudo physical constraints*

As noted, α and β are two curve parameters left not matched to any hand parameters. Here, these remaining curve parameters are defined by two pseudo-physical constraints. The constraints are imposed on a curve object to mimic physical properties of different string-type objects (such as elastic rope and wire etc.). These constraints are described below.

1) Length constraint: this constraint imposes a limit on how a curve length can vary from its original value. For example, a wire has a strong length constraint so that it tends to being bended sharply in response to a shape manipulation, to retain its original length.

2) Bending angle constraint: this constraint imposes a limit on how much a bending angle is allowed for a curve. For example, an elastic rope has a strong bending constraint. Therefore, it tends to stretch in response to a shape manipulation, to avoid sharp bend.

E. *Multiple-segment Manipulation Modes*

In direct manipulation of multiple-segment Bezier curve, we can choose from different manipulation modes to affect the

object's shape differently. First let V_{12} and V_{21} represents control vectors as described in Figure 5(a). If both sizes and directions of V_{12} and V_{21} are equal, the Bezier curve is continuous over multiple (two) segments. If the two have opposite direction with arbitrary sizes, the two segments form G^1 continuity. If the two have arbitrary size and direction, the two curves can be manipulated independently. In summary, manipulation modes of multiple-segment Bezier curve supported by the system are G^2 *connected*, G^1 *connected* and G^0 *connected* (Split) mode.

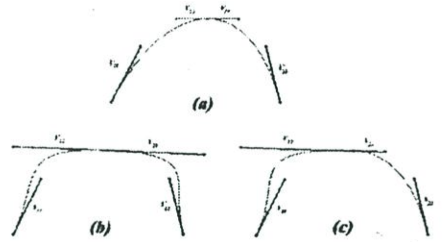


Figure 5. (a) Multiple-segment Bezier curve; (b) Bezier curve in G^2 *connected* mode; (c) Bezier curve in G^1 *connected* mode

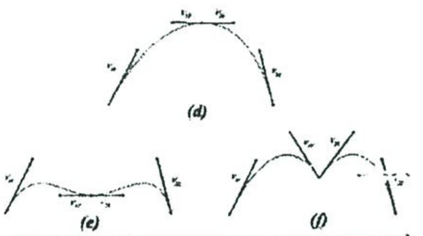


Figure 6. (d) Multiple-segment Bezier curve; (e) Bezier curve in G^2 *connected* mode; (f) Bezier curve in G^0 *connected* mode

IV. Pseudo-Physical Simulation

A pseudo-physical simulation technique is applied here to provide a physical-like property to a 3D virtual object. The technique is much simpler than a common physically based method. The two types of constraints as explained in Section III-*D* are combined into the following cost function

$$C = w_1 \Delta L + w_2 (1 - \cos\theta_{max}) \quad (15)$$

where C is a cost value to minimize, w_1 and w_2 are user definable parameters. From the same equation, ΔL is a normalized length difference as defined by

$$\Delta L = \frac{L - L_0}{L_0} \quad (16)$$

From (15) and (16), L is the current curvature length, and L_0 is the original length. In addition, θ_{max} is the largest bending angle along the curve. From Figure 7 the angle is obtained by finding the angle $\theta(t)$ between the vectors R_tR_{t-1} and $R_{t+1}R_t$. Then, $\cos\theta_{max}$ is obtained from

$$\cos\theta_{max} = \max_{t=0\to 1} \cos\left(\frac{\mathbf{R}_t\mathbf{R}_{t-1} \bullet \mathbf{R}_{t+1}\mathbf{R}_t}{|\mathbf{R}_t\mathbf{R}_{t-1}||\mathbf{R}_{t+1}\mathbf{R}_t|}\right) \quad (17)$$

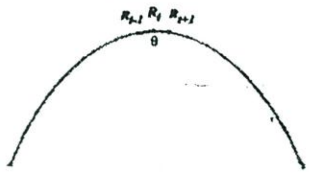


Figure 7. Calculation of a bending angle along a Bezier curves.

From (15) and (16), L is implicitly a function of α and β. Also, from (11) R_t is implicitly a function of α and β. Therefore, θ_{max} and C are all the functions of α and β.

From (15) - (17), we can calculate $C(\alpha, \beta)$ from w_1, w_2, ΔL and M. and C must be minimized with respect to α and β. As a result, α and β are obtained from.

$$(\alpha_{min}, \beta_{min}) = \arg \min_{\alpha,\beta} C(\alpha, \beta) \quad (18)$$

V. Software Prototype and Results

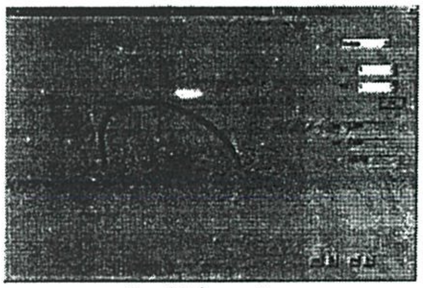


Figure 8. Software prototype

A software prototype was developed using Visual C++ and OpenGL library for graphic display. Experiments were performed with one-handed and two-handed electronic glove (CyberGlove®) configurations. Different values of w_1 and w_2 were tested. Figure 9 shows the result of the manipulation. Figure 10 compares the shapes obtained using different sets of w_1 and w_2.

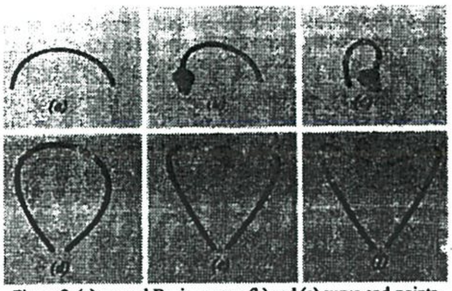


Figure 9. (a) normal Bezier curve; (b) and (c) curve end-points translation by hand gesture; (d) gesture-based manipulation with pseudo-physical constraints; (e) gesture-based manipulation with auto-fragmentation operated in the non-continuous mode; (f) the final shape

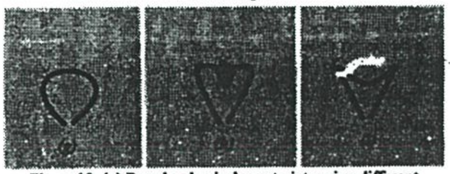


Figure 10. (g) Pseudo-physical constraints using different parameter; (h) manipulation with auto-fragmentation; (i) final shape

Figure 9a shows a normal Bezier curve before manipulation. The manipulated curve shown in Figure 9b and 9c was obtained by translating the curve end-point with gesture-based manipulation. Using gesture-based manipulation with pseudo-physical constraint with $w_1 = 1.0$ and $w_2 = 1.0$, the manipulation result is shown in Figure 9d. By using auto-fragmentation operated in the non-continuous mode, a more complex shape was obtained as shown in Figure 9e. Figure 10 shows the same curve undergone similar manipulation, but with different set of constraint parameters ($w_1 = 0.3$ and $w_2 = 14.0$).

VI. Conclusion

In this paper, a pseudo-physical simulation method for 3D direct manipulation of a 3D curve has been described. The method features the ease of use of a 3D direct manipulation metaphor, and a simulated real-object behavior of a virtual object. Unlike a physically based simulation approach, with its simple equation the proposed pseudo-physical method can reduce processing time and offers more flexibility in designing 3D curves. Software tool has been developed based on the proposed method and was applied to manipulate simple and complex curve shapes.

References

[1] Shi-Min Hu , Hui Zhang , Chiew-Lan Tai and Jia-Guang Sun . "Direct Manipulation of FFD: efficient explicit solutions and decomposible multiple point constraints" ,Springer-Verlag 2001

[2] Kevin T. Mcdonnell and Houng Qin , "Dynamic Sculpting and Animation of Free-form Subdivision Solids" IEEE2000

[3] Colette J. Mullenhoff , "Physically-Based B-Spline Surface Sculpting", Department of Computer Science,The University of Utah December 1998

[4] Tovi Grossman , Ravin Balakrishnan , Karan Singh , "An Interface for Creating and Manipulating Curves using a High Degree-of-Freedom Curve Input Device" CHI 2003

[5] Ignacio Llamas , Alexander Powell , Jarek Rossignac , Chris D. Shaw , "Bender: A Virtual Ribbon for Deforming 3D Shapes in Biomedical and Styling Applications" , ACM Symposium on Solid and Physical Modeling 2005.

[6] Steave Capell , Seth Green , Brian Curless , Tom Duchamp and Zoran Popovic 2002. "Interactive Skeleton-Driven Dynamic Deformations". ACM 2002

[7] Wolfgang Boehm, Andreas Muller, "Computer Aided Geometric Design" , pages 587-605 year of publication 1999 , ISSN:0167-8396

[8] Rhoad, R.; Milauskas, G.; and Whipple, R. "Geometry for Enjoyment and Challenge", rev. ed. Evanston, IL: McDougal, Littell & Company, 1984.

[9] Fuhua Cheng and Chi-Cheng Lin, "Clipping of Bezier Curves",ACM 1985.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน	นายภัทวุธ พิชัยชาญเลิศ
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 19 เมษายน พ.ศ. 2523
วุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรี	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
สถานที่สำเร็จการศึกษา	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีที่สำเร็จการศึกษา	2545