



รายงานการวิจัยประจำปีงบประมาณ 2548

เรื่อง

VR-based Human Computer Interaction Techniques and Applications
เทคนิคการติดต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้อุปกรณ์ความจริงเสมือนและการ
ประยุกต์ใช้งาน

โดย

รศ.ดร.นพพร โชติกกำจร
นายพรชัย กาญจนสุภักดิ์
นายนันทพล สมร่าง

ReH
QA
46.9
.V5

เลขหมู่..... 617.65
เลขทะเบียน..... 67383
วัน,เดือน,ปี..... 29 พ.ย. 2549

b..... 1166.1757
i.....

โครงการสำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ (ReCCIT)

พ.ศ.2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

งานวิจัยเรื่องเทคนิคการติดต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้อุปกรณ์ความจริงเสมือนและการประยุกต์ใช้งาน นี้แบ่งเป็นออกเป็น 2 งานวิจัยย่อย ได้แก่ การศึกษาและพัฒนาเทคนิคการเลือกและเคลื่อนย้ายวัตถุแบบ 3 มิติโดยใช้ท่ามือ สำหรับระบบที่ใช้การแสดงผลแบบโมโน และการศึกษาการจำลองการกระจายของแรงและการแตกหักของวัตถุ ในส่วนแรกของงานวิจัยได้ทำการศึกษาการใช้ท่าทางและการเคลื่อนไหวของมือในการออกคำสั่งสำหรับการเลือกและหยิบจับวัตถุเสมือน โดยได้ศึกษาถึงปัญหาในการใช้งานเทคนิค Ray-Casting ซึ่งเป็นเทคนิคการใช้ลำแสงในการเลือกวัตถุ ซึ่งพบว่าวิธีการดังกล่าวจำเป็นต้องใช้งานภายใต้มุมมองภาพแบบสเตอริโอ สำหรับระบบที่มีการแสดงผลภาพแบบโมโน ผลจากการศึกษาพบว่าเทคนิค Ray-Casting มีประสิทธิภาพลดลง ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาเทคนิคที่เรียกว่า Light-Pointing Method ขึ้นมาโดยอาศัยรูปแบบการใช้งานอุปกรณ์ชี้ด้วยแสงเลเซอร์เป็นต้นแบบแนวคิด เมื่อเปรียบเทียบการทำงานกับเทคนิค Ray-Casting จากการทดลองเบื้องต้นพบว่าวิธีการที่พัฒนาขึ้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเลือกและปรับเปลี่ยนตำแหน่งวัตถุ ในส่วนของงานวิจัยย่อยที่สอง เป็นการศึกษาและพัฒนาโปรแกรมจำลองแรงเพื่อการใช้ในการฝึกฝนทางทันตกรรม โดยอาศัยอุปกรณ์ให้แรงตอบสนองกลับ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาวิธีการคำนวณการกระจายของแรงในวัตถุ และทำการดัดแปลงโมเดลของวัตถุแบบแมสสปริง (Mass – Spring Model) วิธีที่พัฒนาขึ้นใช้การกระจายของแรงไปยังโหนดที่อยู่ในพื้นที่ที่จำกัด ทำให้สามารถลดเวลาในการประมวลผล ซึ่งเป็นความต้องการที่สำคัญในการประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ให้แรงตอบสนองที่ใช้ในการทดลอง

Abstract

This research project on VR-based Human Computer Interaction Techniques and Applications is divided into two parts. The first part deals with the study and development of 3D gesture-based object selection/translation interaction technique for a system with monoscopic display. The second part is on simulation of force propagation and breaking of objects. For the first part, a study was carried out to find appropriate hand postures and movements for objection selection and manipulation tasks. In particular, the problem of the existing Ray-Casting method has been addressed. The method implicitly requires a system with stereoscopic display. Under a monoscopic display condition, it was found that the performance of the Ray-Casting method degrades significantly. To alleviate this problem, an alternative light-pointing method has been developed, based on a laser-pointer metaphor. Compared to the existing Ray-Casting method under monoscopic viewing condition, the proposed method was found to achieve improved performance. For the second part of this project, the research activity is part of the study and development of a haptic simulation program for dental training, using a force-feedback device. A method based on a mass-spring model was investigated as a candidate for force propagation calculation. However, to adapt such method to the problem at hand, the method was modified such that the processing time is reduced. This allows the method to be applied to a force-feedback device used in the study.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก โครงการสำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปีงบประมาณ 2548



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.1.1 เทคนิคการกระทำปรับเปลี่ยนแบบ 3 มิติโดยตรง สำหรับระบบที่ใช้การแสดงผลแบบโมโน	3
1.1.2 การศึกษาการกระจายของแรงภายในวัตถุและการจำลองการแตกหัก	7
1.2 วัตถุประสงค์	9
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	9
1.4 สภาพแวดล้อมในการดำเนินงานวิจัย	10
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	11
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 เทคนิคการกระทำปรับเปลี่ยนแบบ 3 มิติโดยตรง สำหรับระบบที่ใช้การแสดงผลแบบ โมโน	12
2.2 การศึกษาการกระจายของแรงภายในวัตถุและการจำลองการแตกหัก	15
2.3 การตรวจสอบการชนกันระหว่างวัตถุที่เป็นทรงกลมกับ โพลีกอนสามเหลี่ยม	19
2.3.1 หาระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางทรงกลมกับระนาบ	19
2.3.2 ตรวจสอบจุดมุมทั้งสามของสามเหลี่ยมว่าอยู่ภายในทรงกลมหรือไม่	21
2.3.3 ตรวจสอบการชนของเส้นตรงจากจุดใด ๆ ไปยังสามเหลี่ยม (Ray –Triangle Intersection)	22
2.3.4 ตรวจสอบการชนกันของเส้นตรงหรือขอบของสามเหลี่ยม กับทรงกลม	26
บทที่ 3 เทคนิคการเลือกและเคลื่อนย้ายวัตถุด้วยท่าทางของมือ	
3.1 การเลือกรูปแบบการปฏิสัมพันธ์ที่เหมาะสม	28
3.2 การเลือกท่ามือที่เหมาะสมกับการนำมาประยุกต์ใช้	32

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 การจัดการเคลื่อนไหว และท่าทางของมือ	32
3.4 ขั้นตอนการทดลอง	34
บทที่ 4 อัลกอริทึมในการคำนวณการกระจายของแรงและจำลองการแตกหัก	
4.1 อัลกอริทึมในการคำนวณการกระจายของแรง	42
4.1.1 ขั้นตอนการกระจายแรง	42
4.1.2 กรณีมีแรงภายนอกเพียงแรงเดียว	45
4.1.3 กรณีมีแรงภายนอกหลายแรง	46
4.2 การจำลองการแตกหัก	46
4.3 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย	47
4.3.1 อุปกรณ์ตอบสนองต่อแรง	48
4.3.2 3D Touch HD API	48
4.3.3 Open Graphic Library (OpenGL)	49
4.4 ขั้นตอนการทดลอง	49
4.5 ผลการทดลอง	51
4.5.1 ผลการทดลองที่ 1	51
4.5.2 ผลการทดลองที่ 2	53
4.6 สรุปผลการวิจัย	55
บรรณานุกรม	56
ภาคผนวก บทความและผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์	58

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

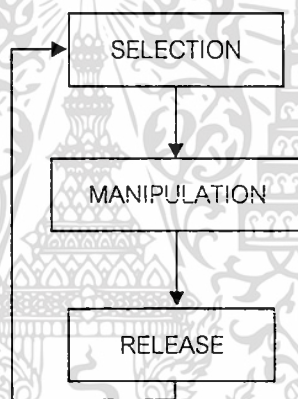
ในปัจจุบัน เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ทางด้าน สื่อประสม (Multimedia) และระบบเสมือนจริง (Virtual Reality) มีการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว พร้อมทั้งอุปกรณ์ทางด้านฮาร์ดแวร์ (Hardware) และซอฟต์แวร์ (Software) มีราคาถูกลงและมีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนั้นทำให้เกิดการใช้งานอย่างแพร่หลาย ทำให้เกิดเทคโนโลยีและโปรแกรมประยุกต์ต่อเนื่องตามมามากมาย ทั้งในแง่เพื่อการศึกษา, วิทยาศาสตร์, อุตสาหกรรม, หรือความบันเทิง นอกจากนี้ยังมีการนำเทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์กราฟิกมาผนวกเข้ากับอุปกรณ์ ตัวอย่าง ถุงมือ (Cyber Glove) แว่นตา (Cyber Eyes) และอุปกรณ์จำลองแรง (Force Feedback Device) เป็นต้น เพื่อสร้างและพัฒนางานด้านระบบเสมือนจริง (Virtual Reality) ทำให้มนุษย์สามารถติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ได้โดยตรงและเป็นธรรมชาติ ไม่ใช่เพียงแค่การสื่อสารผ่านการมองเห็น เสียง หรือการสัมผัสในรูปแบบของเมาส์ คีย์บอร์ด จอยสติค แต่สามารถเข้ามาควบคุมและสื่อสารผ่านอุปกรณ์โดยตรง ซึ่งอุปกรณ์จะมีการตอบสนองกลับมาที่ผู้ใช้ผ่านการสัมผัสหรือแรง

สำหรับอุตสาหกรรมหลายๆ ด้าน เริ่มมีการพัฒนาและค้นคว้ากับการนำวิทยาการทางด้านระบบเสมือนจริงเข้ามาใช้ช่วยในระบบงานด้านการออกแบบ การผลิต และการฝึกหัด เพื่อลดต้นทุนและเวลามากยิ่งขึ้น ตัวอย่างเช่น นำอุปกรณ์จำลองแรงมาช่วยในระบบการออกแบบลวดลายบนภาชนะ ออกแบบรองเท้า หรือแม้กระทั่งระบบฝึกหัดการผ่าตัดผ่านเครือข่าย เป็นต้น

ปกติสภาวะแวดล้อมเสมือนจริง แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ ลักษณะที่ผู้ใช้เข้าไปมีส่วนร่วมภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือนจริง (Immersive) ซึ่งลักษณะดังกล่าว จะมีส่วนร่วมมากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับกระบวนการของผู้ใช้และอุปกรณ์ที่นำมาประยุกต์ใช้ เช่น หน่วยแสดงผลสวมศีรษะ (Head-Mounted Display), ถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ (Cyberglove), อุปกรณ์บอกตำแหน่งแบบ 6 แกน เป็นต้น และลักษณะที่ผู้ใช้ปฏิบัติอยู่นอกสภาวะแวดล้อมเสมือนจริง (Non-Immersive) ก็คือ ผู้ใช้ทำงานในสภาวะแวดล้อมแบบเดสก์ท็อป ซึ่งการปฏิสัมพันธ์ภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือนจริง มีพื้นฐานมาจากการปฏิสัมพันธ์ภายใต้สภาวะแวดล้อม 2 มิติ ซึ่งแตกต่างกันที่อุปกรณ์ที่นำมาประยุกต์ใช้ โดยขึ้นอยู่กับการทำงานภายใต้เงื่อนไขในแต่ละสภาวะแวดล้อม ซึ่งการปฏิสัมพันธ์ดังกล่าวประกอบด้วย 3 โหมด มีดังต่อไปนี้

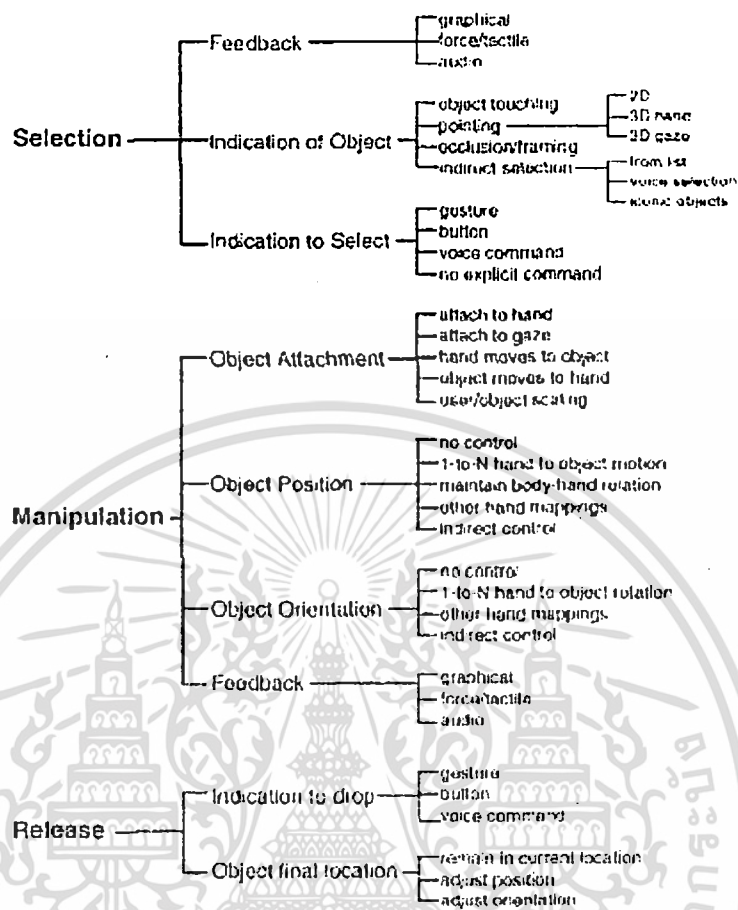
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การเลือก (Selection) เป็นโหมคแรกของการปฏิสัมพันธ์ ซึ่งโหมคของการปฏิสัมพันธ์ การเลือกอาจรวมถึงเวลาในการค้นหา และสิ้นสุดการค้นหาวัตถุเพื่อเลือก โดยเกิดขึ้นเมื่อผู้ใช้ต้องการวัตถุที่อยู่ภายใต้สถานะแวดล้อมเสมือนจริง มาประยุกต์ใช้
- การกระทำปรับเปลี่ยนทางเรขาคณิต (Geometric Manipulation) เป็นโหมคของการปฏิสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นหลังจากโหมคของการปฏิสัมพันธ์การเลือก เช่น การปรับเปลี่ยนตำแหน่ง, การหมุน หรือการลดเพิ่มขนาดของวัตถุ เป็นต้น
- การปล่อย (Release) เป็น โหมคของการปฏิสัมพันธ์สุดท้าย เพื่อวางหรือปล่อยวัตถุจากการปฏิสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นก่อนหน้านี้ จากนั้นลำดับของโหมคของการปฏิสัมพันธ์จะวนกลับไป ณ โหมคของการปฏิสัมพันธ์การเลือกอีกครั้ง เพื่อรอรับคำสั่งต่อไป



รูปที่ 1.1 แสดงความสัมพันธ์ของ โหมคการปฏิสัมพันธ์ภายใต้สถานะแวดล้อมเสมือนจริง

จากรูปที่ 1.1 แสดงลำดับการทำงานของโหมคของการปฏิสัมพันธ์ ซึ่งในแต่ละโหมคดังกล่าวมีวิธีการปฏิสัมพันธ์ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ ดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 แผนผังแสดงรายละเอียดของการปฏิสัมพันธ์ภายใต้สถานะแวดล้อมเสมือนจริง

งานวิจัยฉบับนี้ได้แบ่ง เป็น 2 งานวิจัยย่อย ดังนี้

1.1.1 เทคนิคการกระทำปรับเปลี่ยนแบบ 3 มิติโดยตรง สำหรับระบบที่ใช้การแสดงผลแบบโมโน

โปรแกรมที่ทำงานทางด้านสถานะแวดล้อมเสมือนจริงส่วนใหญ่มีความหลากหลาย และซับซ้อน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของขั้นตอนการทำงาน และปัจจัยต่างๆ ที่ระบบมีต่อผู้ใช้ เช่น อุปกรณ์ที่ติดต่อกะหว่างโปรแกรมกับผู้ใช้ หรือการประยุกต์เทคนิคการปฏิสัมพันธ์ที่เหมาะสมกับการปฏิบัติงาน เป็นต้น ถึงแม้ว่าในปัจจุบันการหยิบจับวัตถุเสมือนจริง ในลักษณะที่ผู้ใช้อยู่นอกสถานะแวดล้อมเสมือนจริงบ่อยครั้งที่ยากต่อการใช้งาน เช่น ขาดคุณสมบัติการตอบสนองของแรงของการหยิบจับสัมผัส มีสิ่งรบกวนสัญญาณตัวบอกตำแหน่งแบบ 6 แกนทำให้ไม่สามารถใช้งานในระบบที่ต้องการความแม่นยำ และความละเอียดสูงได้ การออกแบบ หรือการประยุกต์เทคนิคการปฏิสัมพันธ์ไม่เหมาะสมกับลักษณะของงาน เป็นต้น แต่ก็ยังมีการศึกษาเกี่ยวกับการทำงานของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มนุษย์ที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวัน เช่น การศึกษาการใช้เครื่องมือต่างๆ หรือประเมินสัดส่วนของพื้นที่การทำงานมีผลต่อการทำงานอย่างไร เป็นต้น

โปรแกรมที่ทำงานทางด้านสภาวะแวดล้อมเสมือนจริงส่วนใหญ่มีความหลากหลาย และซับซ้อน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของขั้นตอนการทำงาน และปัจจัยต่างๆ ที่ระบบมีต่อผู้ใช้ เช่น อุปกรณ์ที่ติดต่อระหว่างโปรแกรมกับผู้ใช้ หรือการประยุกต์เทคนิคการปฏิสัมพันธ์ที่เหมาะสมกับการปฏิบัติงาน เป็นต้น ถึงแม้ว่าในปัจจุบันการหิบบังคับวัตถุเสมือนจริง ในลักษณะที่ผู้ใช้อยู่นอกสภาวะแวดล้อมเสมือนจริงบ่อยครั้งที่ยากต่อการใช้งาน เช่น ขนาดคุณสมบัติการตอบสนองของแรงของการหิบบังคับสัมผัส มีสิ่งรบกวนสัญญาณตัวบอกตำแหน่งแบบ 6 แกนทำให้ไม่สามารถใช้งานในระบบที่ต้องการความแม่นยำ และความละเอียดสูงได้ การออกแบบ หรือการประยุกต์เทคนิคการปฏิสัมพันธ์ไม่เหมาะสมกับลักษณะของงาน เป็นต้น แต่ก็ยังมีการศึกษาเกี่ยวกับการทำงานของมนุษย์ที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวัน เช่น การศึกษาการใช้เครื่องมือต่างๆ หรือประเมินสัดส่วนของพื้นที่การทำงานมีผลต่อการทำงานอย่างไร เป็นต้น

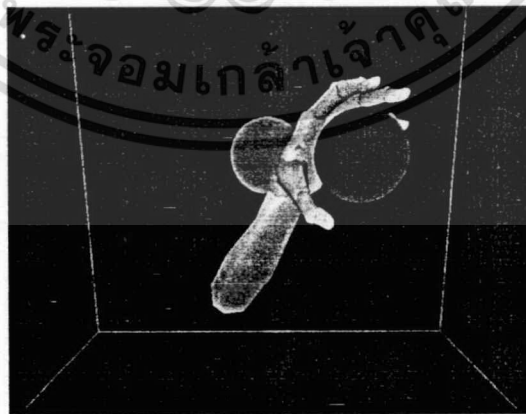
การปฏิสัมพันธ์ภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือนจริง มีส่วนการติดต่อระหว่างผู้ใช้กับโปรแกรมอยู่หลากหลาย เช่น การสั่งการด้วยเสียง การใช้ส่วนของร่างกายในการควบคุม โดยการใส่ศีรษะควบคุม หรือการใช้มือในการควบคุมซึ่งเป็นการปฏิสัมพันธ์แบบโดยตรง ซึ่งเป็นไปในลักษณะธรรมชาติ ง่ายต่อการใช้งาน เป็นต้น

โดยธรรมชาติของมนุษย์ การหิบบังคับสิ่งของที่อยู่รอบตัว เป็นการศึกษาเรียนรู้ และพัฒนาตั้งแต่เกิด เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่ในสมองของมนุษย์เป็นส่วนที่บังคับมือในการหิบบังคับสิ่งของจากรูปที่ 1.3 เป็นภาพวาดแสดงส่วนต่างๆ ของร่างกายซึ่งขนาดของอวัยวะ คือสัดส่วนพื้นที่ที่สมองควบคุมการทำงาน พบว่ามือมีขนาดใหญ่ที่สุด ทำให้ส่วนของมือมีการทำงานในลักษณะที่มีส่วนสำคัญในการพัฒนาการ การเรียนรู้ที่เป็น ไปในลักษณะธรรมชาติโดยอัตโนมัติ



รูปที่ 1.3 แสดงส่วนอวัยวะที่มีความสัมพันธ์กับพื้นที่ภายในสมองของมนุษย์

เทคนิคการปฏิสัมพันธ์พื้นฐาน โดยใช้แบบจำลองมือในการปฏิสัมพันธ์ภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือนจริง เป็นการปฏิสัมพันธ์ในลักษณะการเลือก และการกระทำปรับเปลี่ยนโดยตรง โดยอาศัยการส่งข้อมูลจากถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ และอุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งแบบ 6 แกน สัมพันธ์กับแบบจำลองมือ ทำให้ผู้ใช้มีปฏิสัมพันธ์กับวัตถุ เช่น หยิบจับ เคลื่อนที่วัตถุได้โดยง่าย เป็นต้น ทำงานโดยใช้การเคลื่อนไหวของนิ้วมือผู้ใช้ ทำให้การทำงานมีลักษณะที่เป็นธรรมชาติ ข้อเสียของเทคนิคดังกล่าว คือ ระยะของพื้นที่ในการทำงานมีขอบเขตที่จำกัด เช่น การหยิบจับวัตถุ สามารถหยิบจับในระยะช่วงแขนของผู้ใช้เท่านั้น และไม่เหมาะกับการปฏิสัมพันธ์กับวัตถุที่มีขนาดเล็กกว่าแบบจำลองมือ ตัวอย่างเทคนิคพื้นฐาน โดยใช้แบบจำลองมือ ดังรูป 1.4



รูปที่ 1.4 แสดงเทคนิคพื้นฐานการปฏิสัมพันธ์โดยใช้แบบจำลองมือ ภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือนจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปลักษณะมุมมองการทำงานของสถานะแวดล้อมเสมือนจริง แบ่งเป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

- มุมมองภาพสเตอริโอ (Stereoscopic View) เป็นการเลียนแบบการมองเห็นของมนุษย์ที่มองเห็นวัตถุในลักษณะ 3 มิติ มาแสดงผลทางคอมพิวเตอร์ โดยใช้อุปกรณ์ เช่น หนว่ยแสดงผลสวมศีรษะ (Head-Mounted Display) หรือแว่นตา (Shutter Glass) เป็นเครื่องมือที่ทำให้มนุษย์สามารถมองเห็นวัตถุที่ถูกสร้างจากคอมพิวเตอร์ในลักษณะ 3 มิติได้
- มุมมองภาพเดี่ยว (Monoscopic View) เป็นการแสดงผลจากคอมพิวเตอร์ในลักษณะ 2 มิติ เช่น การจำลองวัตถุลงบนจอภาพแบบซีอาร์ที จากมุมมองของผู้ใช้การแยกแยะความแตกต่างของตำแหน่งวัตถุต่างๆ ว่าอยู่ลึก หรือตื้นลดลง เป็นต้น

พื้นฐานทั่วไปการทำงานกับสถานะแวดล้อมเสมือนจริง จะอยู่ในลักษณะสถานะแวดล้อมแบบเดสก์ท็อปมุมมองภาพเดี่ยว และมีอุปกรณ์ที่มีคุณสมบัติในการทำงานในลักษณะ 3 มิติในการติดต่อกับผู้ใช้กับคอมพิวเตอร์ ซึ่งขึ้นอยู่กับเงื่อนไข และความต้องการของผู้ใช้เป็นหลัก จากการทำงานดังกล่าวผู้ใช้สามารถเพิ่มความสามารถในการเลือก และปรับเปลี่ยนวัตถุได้ โดยร่นระยะทางในการเข้าถึงวัตถุ เช่น เทคนิคการปฏิสัมพันธ์แบบควบคุมระยะไกล เป็นต้น

ปัจจัย และปัญหาที่นำมาพิจารณาในส่วนของการทำงาน มีดังนี้

เวลา เนื่องจากการออกแบบในแต่ละครั้ง มีค่าใช้จ่ายเป็นสัดส่วนกับเวลา เพราะฉะนั้นการออกแบบจำเป็นต้องอาศัยความชำนาญจากการเรียนรู้ ฝึกฝน รวมถึงการเข้าถึงฟังก์ชันของการปฏิสัมพันธ์โดยใช้เวลาน้อยที่สุด หรืองานที่เกิดขึ้นทำงานในลักษณะเป็นธรรมชาติ กับผู้ใช้ เช่น การปฏิสัมพันธ์กับวัตถุโดยตรง เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อลดเวลา และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น

อุปกรณ์ ส่วนใหญ่ที่นำมาประยุกต์ใช้โดยทั่วไปมีพื้นฐานจากทำงานบนระนาบ 2 มิติ ซึ่งไม่สอดคล้องกับสถานะแวดล้อม 3 มิติ หรืออุปกรณ์ที่ทำงานบนระนาบ 3 มิติ มีลักษณะการปฏิสัมพันธ์ไม่เป็นธรรมชาติ ผู้ใช้จำเป็นต้องเรียนรู้ และมีความชำนาญ

ความเมื่อยล้า เกิดจากการเกร็งของกล้ามเนื้อ ระหว่างปฏิบัติงานในลักษณะการปฏิสัมพันธ์จากการใช้คำสั่ง, เทคนิค หรือท่าทางที่ไม่เหมาะสม ไม่เป็นธรรมชาติ

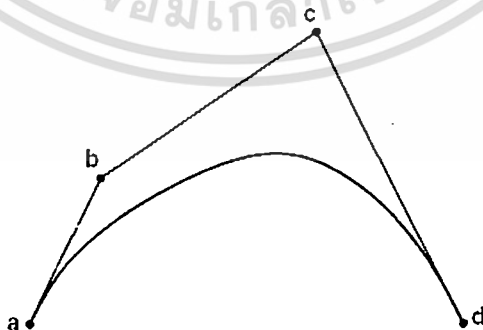
เทคนิคการปฏิสัมพันธ์ การนำเทคนิคการปฏิสัมพันธ์มาประยุกต์ใช้ในลักษณะสถานะแวดล้อมแบบเดสก์ท็อป โดยพิจารณาความเหมาะสมของแต่ละเทคนิค ภายใต้งैอน ใจที่เกิดขึ้น

1.1.2 การศึกษาการกระจายของแรงภายในวัตถุและการจำลองการแตกหัก

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอวิธีการกระจายของแรงภายในวัตถุและการจำลองการแตกหัก ซึ่งการศึกษาการกระจายของแรงภายในวัตถุนั้น เราจะใช้หลักการและวิธีการของการกระจายของแรงของวัตถุที่มีความยืดหยุ่น เพื่อเป็นแบบจำลองในการกระจายของแรงในวัตถุต่าง ๆ เพื่อศึกษาแรงที่กระทำต่อส่วนต่าง ๆ ของวัตถุเมื่อมีแรงภายนอกกระทำ และนำมาพิจารณาว่าวัตถุควรจะแตกหักหรือไม่และส่วนใดของวัตถุที่ควรจะแตกหัก การโมเดลวัตถุที่มีความยืดหยุ่นนั้นสามารถจำแนกได้เป็น 2 วิธีการใหญ่ ๆ คือ การโมเดลโดยใช้และไม่ใช้หลักการทางกายภาพ (Physics and non-physics based Modeling) โดยเฉพาะการโมเดลเชิงกายภาพนั้นเป็นวิธีการที่ต้องคำนึงถึง คุณสมบัติหรือพฤติกรรมของวัตถุ และยึดกฎทางกายภาพด้วย โดยจะเน้นในเรื่องของการเคลื่อนที่และการเปลี่ยนรูปร่างของวัตถุ วิธีในการโมเดลที่ยึดหลักการทางกายภาพนั้นมีอยู่หลายแบบ เช่น แมสสปริง ไฟไนต์เอลิเมนต์ เป็นต้น ส่วนวิธีที่ไม่ได้ยึดหลักการทางกายภาพ เช่น spline เป็นต้น

• Spline

เทคนิค spline เป็นวิธีการแบบ non-physical modeling โดยใช้ spline กำหนดส่วนโค้งของวัตถุโดยใช้จุดควบคุม จากรูปที่ 1.5 จะนำส่วนโค้งแทรกเข้าระหว่างจุด a และ d และเส้นสัมผัสส่วนโค้งที่จุดทั้งสอง ในการออกแบบสามารถปรับเปลี่ยนส่วนโค้งนี้ได้ด้วยการ เปลี่ยนตำแหน่งจุดควบคุมทั้ง 4 จุด และการเพิ่มจุดเข้ามาหรือการลบจุดควบคุมบางจุดออกไป เทคนิคนี้มีประสิทธิภาพ และใช้ได้กับงานที่เป็นแบบ อินเตอร์แอคทีฟ การกำหนดจุดควบคุมหลายๆ จุดทำให้งานมีความสมจริงมากขึ้น แต่ก็มีข้อเสียคือ ในการออกแบบจะต้องใช้ความพยายามอย่างมากเพื่อที่จะให้ผลงานดูสมจริง



รูปที่ 1.5 การใช้ spline สร้างเส้นโค้ง รูปร่างของส่วนโค้งถูกกำหนดโดยจุดควบคุม a b c และ d

- **Finite Element Method**

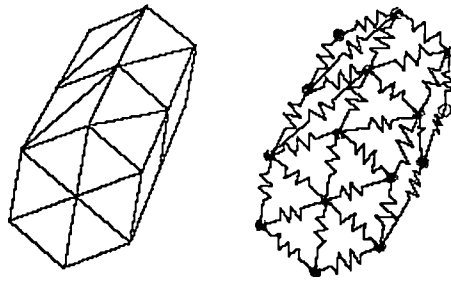
ในการนำวิธีนี้มาประยุกต์ใช้ในการโมเดลนั้น จะเริ่มจากการแทนลักษณะรูปร่างของปัญหาด้วยเอลิเมนต์ขนาดเล็ก ซึ่งทำให้การสร้างโดเมนการคำนวณมีความเที่ยงตรง หลังจากแบ่งโดเมนของการคำนวณออกเป็นเอลิเมนต์แล้ว ขั้นตอนต่อไปของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ คือ การสร้างสมการ ไฟไนต์เอลิเมนต์ สำหรับแต่ละเอลิเมนต์ สมการเหล่านี้ได้มาจากการใช้สมการอนุพันธ์ย่อยที่ครอบคลุมปัญหาที่พิจารณาอยู่นั้น ผสมผสานกับการใช้ฟังก์ชันการประมาณภายใน เพื่อสมมติลักษณะการกระจายของ ตัวไม่รู้ค่าบนเอลิเมนต์นั้น จากนั้นจึงนำสมการของแต่ละเอลิเมนต์ที่สร้างขึ้นมานี้ มาประกอบกันทำให้เกิดสมการชุดใหญ่ ซึ่งในความหมายของการโมเดลก็คือการนำ ทุกเอลิเมนต์มาประกอบกันเข้ากันเป็นรูปร่างลักษณะที่แท้จริง หลังจากนั้นจึงประยุกต์เงื่อนไขขอบเขตของปัญหาลงในระบบสมการชุดใหญ่นี้ ก่อนจะแก้ห้สมการด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขต่อไป แต่การใช้วิธีนี้ถึงจะได้ข้อมูลถูกต้องเที่ยงตรง แต่จำเป็นต้องมีการคำนวณที่ซับซ้อนและใช้เวลานาน ดังนั้นจึงไม่เหมาะกับงานประเภท Real Time



รูปที่ 1.6 การใช้ปริมาตรรูปทรงสามเหลี่ยมเล็กๆ แทนรูปร่างของวัตถุ

- **Mass-spring Model**

วิธีการนี้แบ่งวัตถุเป็น โหนด ๆ แต่ละโหนดมีมวลซึ่งอาจมีค่าไม่เท่ากัน และแต่ละโหนดเชื่อมต่อกันด้วยสปริง วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายไม่ซับซ้อน และใช้กันอย่างแพร่หลาย ทั้งในด้านการฝึกหัดทางการแพทย์, การจำลองเสื้อผ้า ฯลฯ เนื่องจากมีวิธีการคำนวณที่ไม่ซับซ้อน จึงเหมาะแก่งานที่เป็น Real time ดังนั้นจึงเลือกวิธีนี้ในสร้างแบบจำลอง



รูปที่ 1.7 การใช้สปริงต่อกันเป็นรูปร่างของวัตถุ

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาทำมือพื้นฐานที่เหมาะสม ที่สามารถสื่อความหมายในลักษณะของการใช้งานในชีวิตประจำวันที่เป็นธรรมชาติ โดยอาศัยการออกแบบ และประเมินทำมือที่เหมาะสม โดยคำนึงถึงปัจจัยในด้าน เช่น ความยากง่ายในการเรียนรู้ ประสิทธิภาพการทำงาน เป็นต้น
2. เพื่อศึกษา และพัฒนาเทคนิคของการปฏิสัมพันธ์ที่เหมาะสมภายใต้สภาวะแวดล้อมแบบเดสก์ท็อป และการแสดงผลภาพแบบมุมมองภาพเดียว
3. เพื่อศึกษาและจำลองการกระจายของแรง ของวัตถุที่มีความยืดหยุ่น โดยใช้โมเดลของแมส-สปริง
4. เพื่อศึกษาและจำลองการกระจายของแรง โดยกำหนดความลึกของการกระจายแรง
5. สามารถนำอุปกรณ์จำลองแรงสัมผัสมาใช้งานได้หลากหลายยิ่งขึ้น
6. นำโมเดลและผลการทดลองไปใช้ศึกษาและจำลองการแตกของวัตถุที่มีความแข็งได้ในโอกาสต่อไป

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาการปฏิสัมพันธ์ภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือนจริง และขอบเขตของลักษณะเทคนิคการปฏิสัมพันธ์พื้นฐาน ในการเลือก และนำวัตถุมาประยุกต์ใช้
2. ทำการเปรียบเทียบโหมดการปฏิสัมพันธ์การเลือก และการกระทำปรับเปลี่ยนกับระบบเดิม โดยใช้อุปกรณ์ที่ทำงานบนระนาบ 2 มิติ กับการใช้ทำมือร่วมกับเทคนิคการปฏิสัมพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. พัฒนาโปรแกรมต้นแบบที่ใช้การปฏิสัมพันธ์ภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือนจริงในลักษณะมุมมองภาพเดียว
4. จำลองการกระจายของแรงของวัตถุที่มีความยืดหยุ่น โดยไม่คิดแรงต้านของสปริงที่ส่งมายังอุปกรณ์จำลองแรง
5. ใช้อุปกรณ์ร่วม ในการทำงานประเภทจำลองแรง คือ PHANToM Premium 1.0 with Encoder Finger stylus

1.4 สภาพแวดล้อมในการดำเนินงานวิจัย

สภาพแวดล้อมหมายถึงถึงอุปกรณ์ ระบบปฏิบัติการ ที่ใช้ในการพัฒนา และการดำเนินโครงการ ซึ่งประกอบไปด้วย

1. Microsoft Windows XP
2. OpenGL สำหรับแสดงภาพกราฟิกสามมิติ
3. ถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ ได้รับการพัฒนาโดย บริษัท Immersion ซึ่งเป็นอุปกรณ์ส่วนที่ติดต่อระหว่างโปรแกรมกับผู้ใช้ ประกอบด้วย Sensor ตรวจจับการบิดงอส่วนต่างๆ ของนิ้วมือ และข้อมือ ทั้งหมดมี 22 ตัว สัญญาณที่ถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ส่งออกมาเป็นแอนะล็อก และถูกแปลงเป็นดิจิทัลเพื่อใช้งานกับคอมพิวเตอร์ต่อไป
4. อุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งแบบ 6 แกน ได้รับการพัฒนาโดยบริษัท Polhemus รุ่น ISOTRAK II ประกอบด้วยตัวส่งสัญญาณ 1 ตัว และตัวรับ 2 ตัว สัญญาณที่ใช้เป็นสัญญาณชนิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าระยะทำการ 72 นิ้ว ทำงานตรวจวัดตำแหน่ง x, y, z, yaw, pitch และ roll หน่วยวัดที่ใช้เป็นเซนติเมตร
5. โปรแกรมต้นแบบ พัฒนาเพื่อจัดเก็บข้อมูลที่ถูส่งออกมาจากถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ และจำแนก รู้จำท่ามือ สร้างการปฏิสัมพันธ์ เทคนิคการปฏิสัมพันธ์ภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือนจริงเพื่อนำไปใช้ในการทดลอง โดยพัฒนาจากภาษา Visual C++ 6.0 โดยใช้ Virtual Hand Library ของบริษัท Immersion เพื่อใช้ติดต่อกับถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ และอุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งแบบ 6 แกน
6. อุปกรณ์ที่ให้ความรู้สึกได้โดยแรงสัมผัส PHANToM Premium 1.0 with Encoder Finger stylus
7. ใช้ Microsoft Visual C++ เป็น compiler
8. Software library 3DTouch สำหรับติดต่อกับอุปกรณ์ PHANToM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. นำโมเดลและแบบจำลองไปศึกษากระจายของแรงในวัตถุต่าง ๆ ได้
2. นำไปสร้างแบบจำลองของการแตกร้าวของวัตถุ เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ
3. เป็นแนวทางในการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์อื่นๆ เกี่ยวกับอุปกรณ์จำลองการสัมผัส
4. ทำให้เครื่องมือจำลองแรงสัมผัสใช้อย่างแพร่หลายมากยิ่งขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

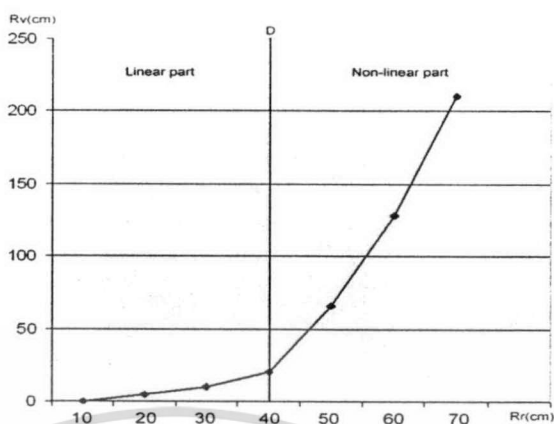
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เทคนิคการกระทำปรับเปลี่ยนแบบ 3 มิติโดยตรง สำหรับระบบที่ใช้การแสดงผลแบบ โมโน

Doug A. Bowman และคณะ[1] ได้ทำการศึกษากระบวนการของการปฏิสัมพันธ์ภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือนจริง และวัดค่าประสิทธิภาพของเทคนิคการปฏิสัมพันธ์สำหรับสภาวะแวดล้อมเสมือนจริง โดยได้ทำการทดลอง การประยุกต์ใช้พื้นฐานของเทคนิคการปฏิสัมพันธ์ทั่วไปกับโหมดของการปฏิสัมพันธ์ ทำให้ได้รูปแบบมาตรฐานในการปฏิสัมพันธ์ภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือนจริง เพื่อนำไปสู่การเลือกเทคนิคการปฏิสัมพันธ์ที่เหมาะสมมาประยุกต์กับ โปรแกรมประยุกต์เสมือนจริงได้

Ken Hinckley และคณะ[2] ได้ทำการสำรวจ และรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการออกแบบภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือนจริง จากงานวิจัยในส่วนเออร์โกโนมิกส์ และการปฏิสัมพันธ์อย่างง่ายได้กล่าวถึง การใช้อุปกรณ์ที่ทำงานบนระนาบ 2 มิติ เช่น เมาส์, คีย์บอร์ด เป็นต้น ที่ทำงานภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือนจริงอย่างต่อเนื่อง ในลักษณะงานซ้ำๆ กัน ก่อให้เกิดความไม่สะดวก และความเมื่อยล้า เพราะปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องจากการปฏิบัติงานไม่เป็นลักษณะธรรมชาติร่วมกับสภาวะแวดล้อมเสมือนจริง

Ivan Poupyrev และคณะ[3] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับเทคนิคการปฏิสัมพันธ์ในการเลือก และหยิบจับวัตถุ โดยใช้หลักการทำให้ระยะของท่อนแขนผู้ใช้นานกว่าความเป็นจริง มือเสมือนของผู้ใช้สามารถเข้าใกล้วัตถุได้ โดยร่นระยะทางระหว่างวัตถุกับผู้ใช้นิดวัตถุเข้าหาผู้ใช้ โดยใช้ตำแหน่งเดิมของท่อนแขน และนำวิธี Non-linear mapping มาประยุกต์ใช้ โดยพื้นที่รอบๆ ผู้ใช้ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังรูปที่ 2.1 ส่วนพื้นที่แรก เป็นส่วนของพื้นที่ที่มีสัดส่วนในการเคลื่อนที่เป็น 1:1 กับมือจริง คือระยะที่ใกล้กับผู้ใช้มากที่สุด ส่วนพื้นที่ถัดไป คือพื้นที่ที่มีระยะมากกว่าค่า D ที่ถูกกำหนดไว้



รูปที่ 2.1 แสดงระยะของค่า D และช่วงการทำงานของ linear และ non-linear

โดยพื้นที่ในส่วนนี้ผู้ใช้สามารถเพิ่มระยะความยาวของท่อนแขน ทำให้สามารถปฏิสัมพันธ์
ในลักษณะการควบคุมวัตถุระยะไกลได้ ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงตำแหน่งของมือจริง ซึ่งแทนด้วยสีเหลืองสีขาว และมือเสมือนจริง
ในขณะที่ใช้เทคนิคการปฏิสัมพันธ์แบบ Go-Go

จากรูปที่ 2.2 แสดงเทคนิค Go-Go เกิดจากการคำนวณตำแหน่งของ Sensor 2 ตัวที่ส่งออกมาจากอุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งแบบ 6 แกน โดย Sensor ตัวแรกส่งตำแหน่ง และองศาการหมุนของมือ Sensor ตัวที่สองส่งตำแหน่งหน้าอกของผู้ใช้ โดยนำค่าจากตำแหน่งต่างๆ มาแทนในสมการที่ 2.1 มีรายละเอียดดังนี้

$$R_v = F(R_r) = \begin{cases} R_r & \text{if } R_r > D \\ R_r + k(R_r - D)^2 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.1)$$

เมื่อ R_v คือ ตำแหน่งของมือเสมือนจริง

R_r คือ ตำแหน่งของมือจริง

k คือ ค่าคงที่ ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

D คือ ค่า threshold ใช้สำหรับแบ่งระยะทำการ ระหว่าง linear กับ non-linear

จากสูตร เมื่อ R_r มีค่ามากกว่า ค่า threshold จึงจะเข้าสู่เทคนิคการปฏิสัมพันธ์แบบ Go-Go โดยที่ ค่า k มีไว้สำหรับระยะยืดความยาวของท่อนแขนให้มีความละเอียดแม่นยำมากขึ้น

Doug A. Bowman และ Larry F. Hodges[4] ได้อธิบายถึงการเปรียบเทียบคุณสมบัติ และ ประยุกต์เทคนิคการปฏิสัมพันธ์ในลักษณะการควบคุมวัตถุระยะไกล โดยมีเทคนิคการปฏิสัมพันธ์ ดังต่อไปนี้ คือ เทคนิค Go-Go, เทคนิค Ray-Casting รวมถึงการพัฒนาเทคนิคการปฏิสัมพันธ์แบบ ร่วม โดยพิจารณาเฉพาะโหมดของการปฏิสัมพันธ์การเลือก และการกระทำปรับเปลี่ยน ทำให้เพิ่ม ประสิทธิภาพ และง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้งาน โดยทำการทดลองภายใต้สภาวะแวดล้อม เสมือนจริง ในลักษณะที่ผู้ใช้เข้าไปมีส่วนร่วมภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือนจริง และนำเทคนิคการ ปฏิสัมพันธ์ดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ ผลที่ได้มี 3 ข้อดังต่อไปนี้

- เทคนิค Go-Go มีความเป็นธรรมชาติ ในการนำมาใช้งานมากที่สุด แต่ผู้ทดลองส่วนใหญ่เลือกใช้เทคนิค Ray-Casting ซึ่งมีประสิทธิภาพในการเลือกวัตถุมากกว่า ซึ่งเป็น ผลจากการที่เทคนิค Go-Go ใช้การ Non-linear mapping ทำให้การกะเนระยะคลิก กระทำได้ลำบาก
- เทคนิค Go-Go มีปัญหาในการใช้งานในทางปฏิบัติ เนื่องจากว่าเทคนิคดังกล่าว ประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับช่วงแขนของผู้ทดลอง
- เทคนิค Ray-Casting ไม่เหมาะกับการนำมาใช้ในลักษณะหมุนวัตถุเสมือน

2.2 การศึกษาการกระจายของแรงภายในวัตถุและการจำลองการแตกหัก

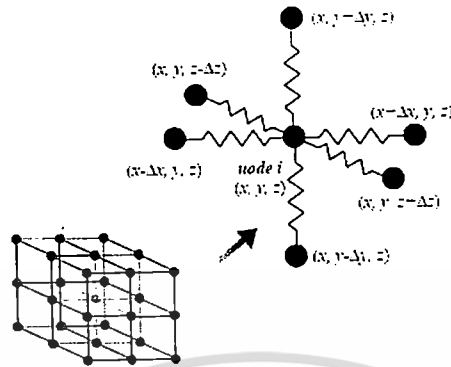
K.S. Choi และคณะ[12] ได้อธิบายถึงการจำลองการโมเดลวัตถุที่มีความยืดหยุ่น โดยใช้แมสสปริงโมเดล และวิธีการกระจายแรงเมื่อมีแรงภายนอกมากระทำที่โหนดใด ๆ ไปยังโหนดต่าง ๆ โดยกำหนดจำนวนชั้นการกระจายของแรงที่จำกัด เพื่อลดเวลาในการคำนวณ แรงที่เกิดขึ้นในแต่ละโหนดประกอบไปด้วย แรงภายนอก, แรงสปริงที่เชื่อมต่อกับโหนดใกล้เคียง และแรงหน่วงที่เกิดจากความเร็วในการเคลื่อนที่ของสปริง (damping force) และแรงที่เกิดจากความเร่งของวัตถุนั้น การใช้แมสสปริงโมเดล เป็นวิธีที่ง่าย ไม่ซับซ้อน และการกำหนดจำนวนชั้นการกระจายของแรง เป็นวิธีลดการคำนวณทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของโปรแกรมดีขึ้น ซึ่งเหมาะกับงานประเภท real time เช่น การจำลองวัตถุที่มีความยืดหยุ่นบน Web, การจำลองการการผ่าตัดเพื่อฝึกฝนนักศึกษา แพทย์ เป็นต้น



รูปที่ 2.3 การกระจายแรงโดยใช้แมสสปริงโมเดล

- สมการของแรงที่กระทำต่อระบบ

สำหรับวัตถุที่มีปริมาตรที่ถูกแบ่งเป็น โหนดและเชื่อมต่อกันด้วยสปริง แต่ละสปริงจะเป็นไปตามกฎ Hook's Law และการเคลื่อนที่ของแต่ละโหนดจะถูกหน่วงด้วย damping force ที่มีสัดส่วนตามความเร็วของแต่ละโหนด



รูปที่ 2.4 การจำลองวัตถุที่มีความยืดหยุ่นด้วย mass-spring model

จากรูปที่ 2.4 โหนด i ถูกเชื่อมต่อกับสปริงกับโหนดใกล้เคียงอีก 6 โหนด แรงทั้งหมดที่กระทำกับโหนด i เป็นผลมาจากแรงจากโหนดใกล้เคียงเหล่านี้ และแรงภายนอก F_i , พฤติกรรมของโหนด i จะเป็นตามกฎการเคลื่อนที่ของ Newton

$$m_i \frac{d^2 u_i}{dt^2} + d_i \frac{du_i}{dt} + \sum_{j \in \text{connected nodes}} \frac{k_{ij} (|r_{ij}| - l_{ij})}{|r_{ij}|} r_{ij} = F_i \quad (2.2)$$

จากสมการข้างบน m_i , u_i และ d_i เป็นค่าของ มวล, ตำแหน่ง และ ค่า damping constant ของโหนด i และ $r_{ij} = u_j - u_i$ เป็นเวกเตอร์จากโหนด i ไปยังโหนด j , l_{ij} เป็นค่าความยาวของสปริงในสภาวะปกติ (Natural length) ส่วน u_i จะใช้ในแก้สมการ differential equation โดยใช้วิธีการ finite difference method คือ ให้ Δt เป็นเวลาในแต่ละ time step, ตำแหน่งของโหนด i ที่เวลา $t + \Delta t$ คือ $u_i(t + \Delta t)$ ซึ่งจะถูกคำนวณโดยใช้ตำแหน่งในเวลาปัจจุบัน $u_i(t)$ และตำแหน่งในช่วงเวลาที่ผ่านมา $u_i(t - \Delta t)$

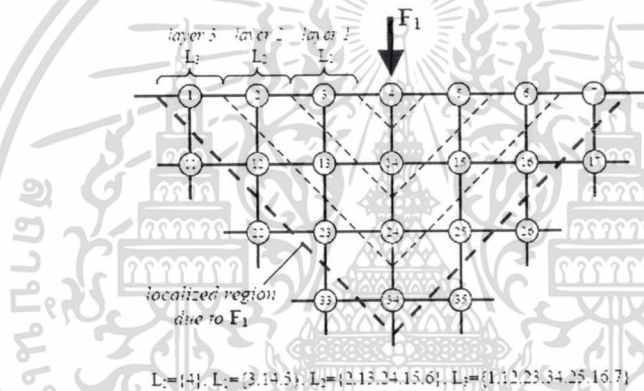
$$\frac{du}{dt} \approx \frac{\Delta u}{\Delta t} = \frac{u(t + \Delta t) - u(t - \Delta t)}{\Delta t} \quad (2.3)$$

$$\frac{d^2 u}{dt^2} \approx \frac{\Delta^2 u}{\Delta t^2} = \frac{u(t + \Delta t) - 2u(t) + u(t - \Delta t)}{(\Delta t)^2} \quad (2.4)$$

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

- การกำหนดขอบเขตกระจายของแรง

จากรูปที่ 2.5 แสดงอาร์เรย์ของโหนดใน 2 มิติ เมื่อ โหนด 4 มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเนื่องจากแรงภายนอก F_1 มากกระทำ โหนด 4 จะเปลี่ยนตำแหน่งไปจากผลของแรง F_1 และแรงจากสปริงของโหนดใกล้เคียง (คือ 3, 4 และ 5 ในเลเยอร์ที่ 1 (layer 1)) และกระบวนการนี้จะถูกทำซ้ำสำหรับทุก ๆ โหนดในเลเยอร์ที่ 1 ตัวอย่างเช่น โหนด 3 จะเปลี่ยนตำแหน่งโดยแรงจากสปริงที่โหนด 2, 13 และ 4 และถ้าโหนดในเลเยอร์ที่ 1 เชื่อมต่อกับโหนดอื่น ๆ ในเลเยอร์ที่ 2 จะส่งผลให้โหนดเหล่านั้นมีการเปลี่ยนตำแหน่งด้วย (โหนด 2, 13, 24, 15 และ 6) และจากโหนด 4 ที่ส่งไปยังโหนดอื่นในเลเยอร์ที่มากขึ้น จะถูกลดทอนลงเนื่องจากสปริง และแรงเหล่านี้ก็จะกระจายไปยังทุก ๆ โหนดของวัตถุใน 1 time step



รูปที่ 2.5 การกระจายของแรงใน 2 มิติ ที่ความลึกเท่ากับ

สำหรับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบไม่มาก โหนดที่อยู่ไกลมาก ๆ เราสามารถไม่สนใจได้ “penetration depth” เป็นวิธีจำกัดจำนวน เลเยอร์ของโหนดที่จะถูกกระจายแรงไป จำนวนโหนดที่ถูกกระจายแรงไป (affected nodes) เป็นไปตามสมการที่ 1.4

$$N = \frac{1}{3}(n+1)(2n^2 + 4n + 3) \quad (2.5)$$

โดย n คือจำนวนเลเยอร์ ดังนั้นเราสามารถควบคุมความซับซ้อนของการคำนวณได้โดยการควบคุมค่า n

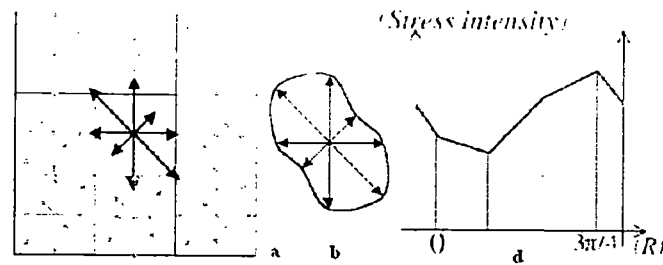
67383

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

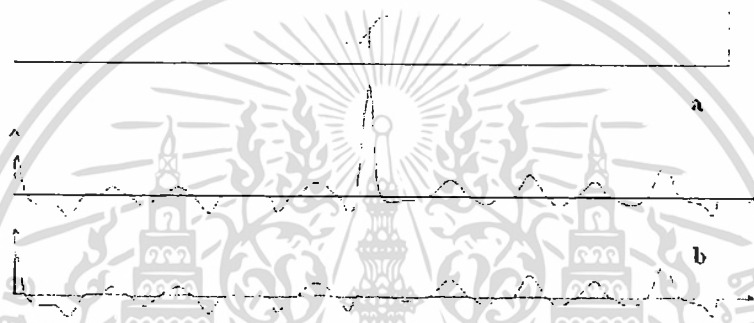
James F., O'Brien, Jessica K. และ Hodgins[13] ได้นำเสนอเทคนิคการจำลองวัตถุที่มีความยืดหยุ่น รวมทั้งการโมเดลการแตกหักและการกระจายเส้นทางการแตกกับวัตถุ 3 มิติที่มีปริมาตร โดยใช้วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ (finite element method) วิเคราะห์ความเค้นภายในวัตถุเมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ ในการจำลองนี้จะกำหนดจุดเริ่มต้นของการแตกที่เหมาะสมและทิศทางของการแตกที่ควรกระจายไป จากผลการทดลองโดยใช้วัตถุที่มีจำนวนโหนดเท่ากับ 338 โหนด 1109 เอลิเมนต์ พบว่าเวลาที่ใช้ในการจำลองการแตกหักนี้มีค่าเท่ากับ 339 วินาที ซึ่งเป็นเวลานานและไม่เหมาะกับงานแบบ real time เป็นอย่างยิ่ง



Stephane Gobron และ Norishige Chiba[14] ได้นำเสนอวิธีการการกระจายการแตกบนพื้นผิว 3 มิติใด ๆ วิธีการนี้สามารถใช้ได้กับทุกประเภทของการแตก และทุกประเภทของวัตถุ 3 มิติที่ใช้การโมเดลแบบ สามเหลี่ยมต่อกันเป็นวัตถุ (triangulated 3D object) การโมเดลนี้มีข้อดี คือ ใช้วิธีแก้ปัญหา แบบใช้หลักการกึ่งกายภาพของวัตถุ (semi-physical solution) ทำให้ผู้ใช้สามารถควบคุมการแตกได้ (controllable) และง่ายต่อการพัฒนาเพิ่มเติม (extensible) วิธีที่ใช้นี้เป็นการวิเคราะห์ สเปกตรัมความเค้น (stress spectrum) เพื่อวิเคราะห์หาเส้นทางการแตกที่ควรกระจายไป สเปกตรัมความเค้นจะถูกกำหนดไปบนพื้นผิวของวัตถุโดยการแบ่งวัตถุเป็นสี่เหลี่ยมเล็ก ๆ เรียกว่า เซลล์ (cell) ในแต่ละเซลล์ประกอบด้วย ทิศทาง Cartesian เป็นตัวกำหนด ความเค้นของสเปกตรัม โดยการสร้างสเปกตรัมความเค้นถูกสร้างจากความแตกต่างของความหนาของพื้นผิววัตถุ ถ้าความสูงของแต่ละเซลล์มีค่าความต่างกันมาก จะทำให้สเปกตรัมในเซลล์นั้นมีค่ามากตามไปด้วย สำหรับการจำลองการแตกและทิศทางกระจายการแตกจะวิเคราะห์จากสเปกตรัมความเค้นนี้ โดยทิศทางที่ควรกระจายไปขึ้นอยู่กับ ทิศทาง Cartesian ของสเปกตรัมความเค้นในแต่ละเซลล์



รูปที่ 2.5 สเปกตรัมความเค้นแสดงเป็นกราฟิก : a 1 เซลล์; b ฟิวด์ความเค้น (stress field); c สเปกตรัมความเค้น



รูปที่ 2.6 การสร้างสเปกตรัมจากความต่างกันของความสูงของพื้นผิววัตถุ และแสดงการตัดสเปกตรัมที่ไม่ต่อเนื่องเพื่อแก้ปัญหาคำนวณที่จะผิดพลาด

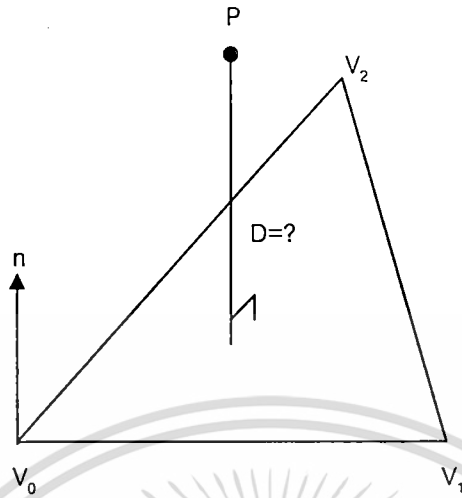
2.3 การตรวจสอบการชนกันระหว่างวัตถุที่เป็นทรงกลมกับโพลีกอนสามเหลี่ยม

เนื่องจาก เราใช้การแสดงผลเป็นกราฟิก ด้วย OpenGL และการจำลองการกระจายแรงโดยใช้อุปกรณ์จำลองแรง ก็แสดงเป็นกราฟิก โดยแสดงเป็น อุปกรณ์เสมือนบนคอมพิวเตอร์ ดังนั้นต้องทำการตรวจสอบการชนกันของโมเดล (Collision Detection) เหล่านี้ เราจึงทำการศึกษาและสรุปวิธีการตรวจสอบการชนกันดังนี้

การตรวจสอบการชนกันจะแบ่งเป็น 4 ขั้นตอน เพื่อลดเวลาในการคำนวณ ซึ่งประกอบด้วย

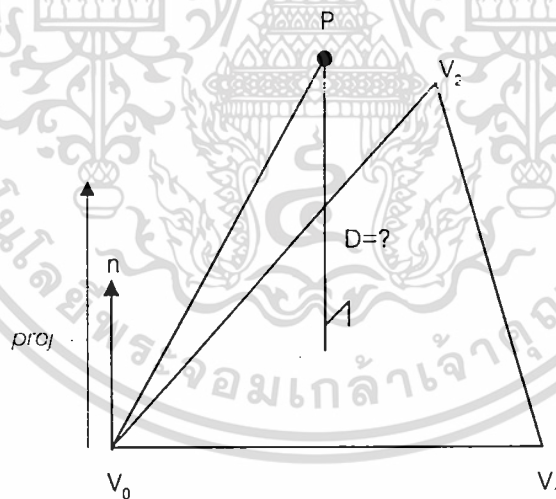
2.3.1 หาระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางทรงกลมกับระนาบ

กำหนดให้จุด $P(x, y, z)$ เป็นจุดที่ไม่ได้อยู่บนระนาบ และ D เป็นระยะห่างระหว่างจุด P กับระนาบ[15] ดังรูป



รูปที่ 1.12 ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางทรงกลมกับระนาบ

ให้ $\vec{n} = a\vec{i} + b\vec{j} + c\vec{k}$ เป็น normal vector หรือเวกเตอร์ที่ตั้งฉากกับระนาบ ซึ่งสามารถหาได้โดย $\vec{n} = (V_1 - V_0) \times (V_2 - V_0)$ และ $V_0(x_0, y_0, z_0)$



รูปที่ 1.13 การหาระยะห่าง D

จากรูปข้างต้น สามารถหาระยะห่าง D ได้โดยการโปรเจกต์ (project) เวกเตอร์ V_0P ลงบน เวกเตอร์ n ดังสมการ

$$D = \left\| \text{proj}_{\vec{n}} \overline{V_0P} \right\| = \frac{|V_0P \cdot \vec{n}|}{\|\vec{n}\|} \quad (1.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

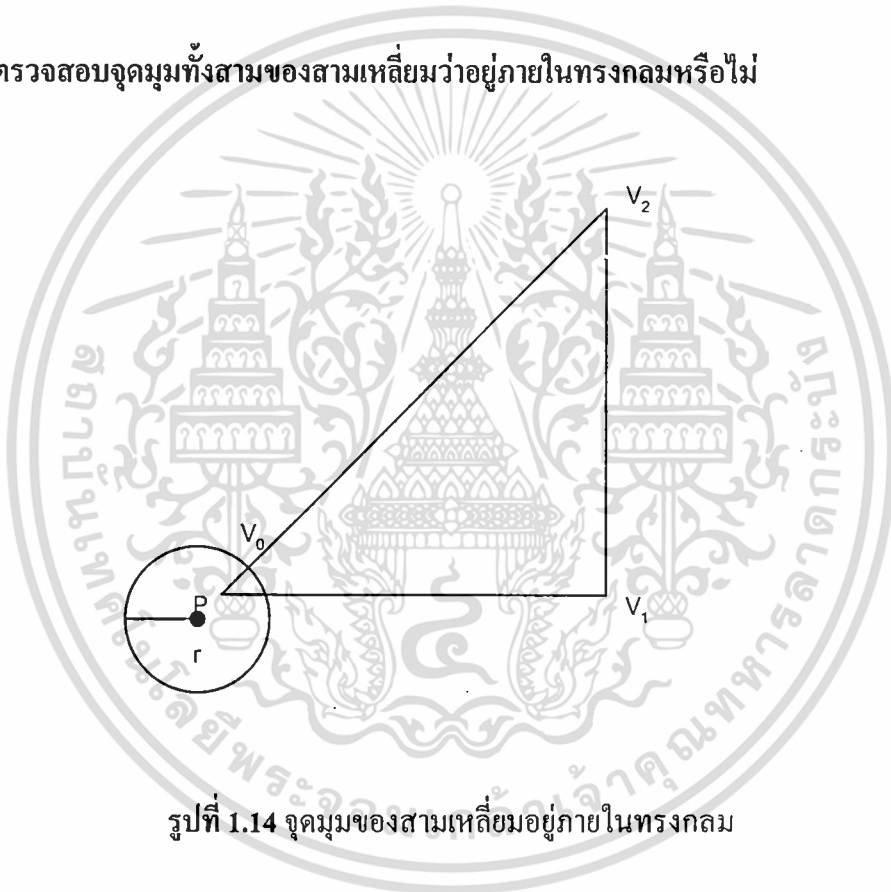
$$D = \frac{|a(x-x_0) + b(y-y_0) + c(z-z_0)|}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}} \quad (1.6)$$

เมื่อคำนวณระยะห่างได้แล้ว จะนำไปเปรียบเทียบกับระยะห่าง D มีค่ามากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกลมหรือไม่

ถ้ามากกว่า แสดงว่าทรงกลมอยู่ห่างเกินไป

ถ้าน้อยกว่า จะทำการคำนวณในขั้นตอนที่ 2 ต่อไป

2.3.2 ตรวจสอบจุดมุมทั้งสามของสามเหลี่ยมว่าอยู่ในทรงกลมหรือไม่



รูปที่ 1.14 จุดมุมของสามเหลี่ยมอยู่ในทรงกลม

จุดใด ๆ ที่อยู่ในทรงกลมจะเป็นไปตามสมการข้างล่าง โดย $P(x, y, z)$ เป็นจุดศูนย์กลางทรงกลมมีรัศมีเท่ากับ r และ $V_0(x_0, y_0, z_0)$ เป็นจุดมุมของสามเหลี่ยม

$$(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2 \leq r^2 \quad (1.7)$$

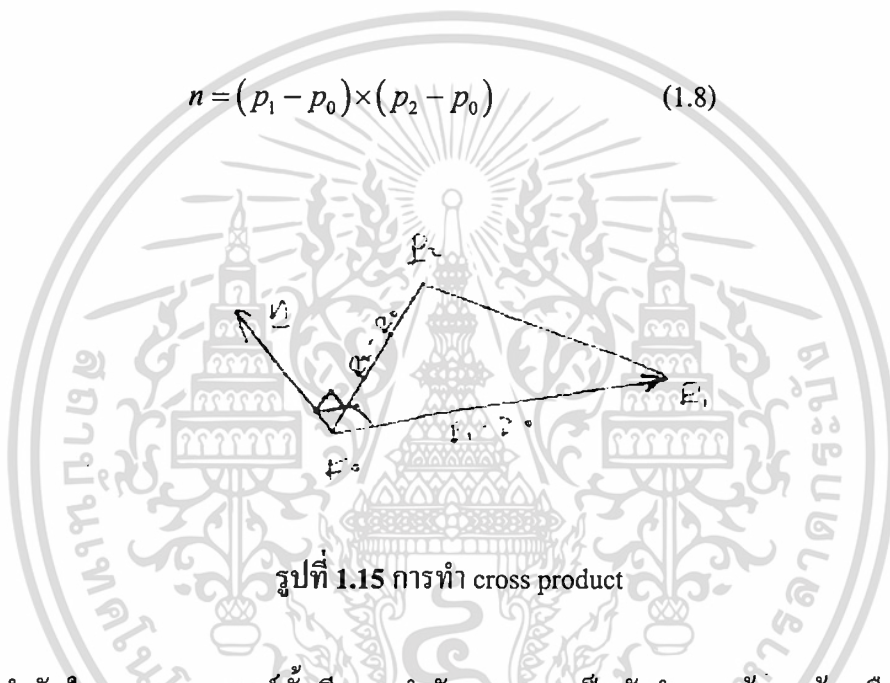
2.3.3 ตรวจสอบการชนของเส้นตรงจากจุดใด ๆ ไปยังสามเหลี่ยม (Ray –Triangle Intersection)

สามเหลี่ยมเป็นส่วนหนึ่งของระนาบซึ่งถูกกำหนดด้วยจุดมุม 3 จุดซึ่งทำให้มีขอบ 3 ขอบ การตรวจสอบ ray-triangle intersection [17] มีด้วยกัน 2 ขั้นตอน คือ

1. สร้าง ray ไปยังระนาบของสามเหลี่ยม
2. ตรวจสอบว่าการชนกันอยู่ภายในสามเหลี่ยมหรือไม่

กำหนดให้สามเหลี่ยมประกอบขึ้นด้วยจุด 3 จุด คือ P_0 , P_1 และ P_2 เราสามารถหา normal vector ของสามเหลี่ยม ได้จากการทำ cross product ระหว่างขอบ 2 ขอบของสามเหลี่ยมจากสมการ

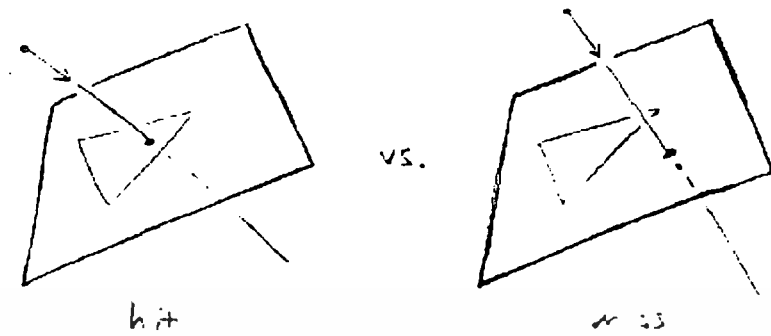
$$n = (p_1 - p_0) \times (p_2 - p_0) \quad (1.8)$$



รูปที่ 1.15 การทำ cross product

ลำดับในการคูณเวกเตอร์นั้นมีความสำคัญ เพราะจะเป็นตัวกำหนดด้านหน้า หรือ ด้านหลังของสามเหลี่ยม ดังนั้นเราจะนับแบบทวนเข็มนาฬิกา หลังจากนั้นจะทำการหาว่าจุดที่ชนกับ ระนาบของสามเหลี่ยมนั้นอยู่ข้างในหรือข้างนอก

เราพบว่าแต่ละด้านของสามเหลี่ยมนั้นถูกกำหนดด้วยเส้นหนึ่งเส้น และจุด ๆ ที่อยู่ใน สามเหลี่ยมก็คือจุดที่อยู่ภายในเส้นขอบทั้งสามเส้นดังรูปด้านล่าง



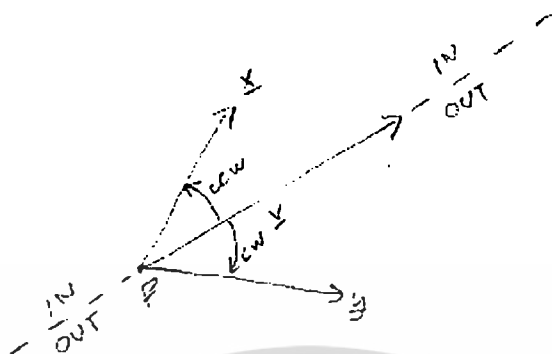
รูปที่ 1.16 ray อยู่ภายในหรือภายนอกของสามเหลี่ยม

กำหนดให้เส้นขอบประกอบด้วย จุด p และ เวกเตอร์ v และให้แบ่งส่วนของเส้นขอบนี้เป็นสองส่วน คือ ด้านซ้ายและขวาตามทิศทางของเวกเตอร์ และเรากำหนดให้ด้านซ้ายคือ ภายใน (inside) และด้านขวาคือ ภายนอก(outside) ของสามเหลี่ยม ดังนั้นเราสามารถรู้ได้ว่า จุด x ใดๆ อยู่ภายในหรือภายนอกได้โดยตรวจสอบเวกเตอร์ $x - P$ ว่าทวนเข็มนาฬิกาหรือตามเข็มนาฬิกาจาก เวกเตอร์ v



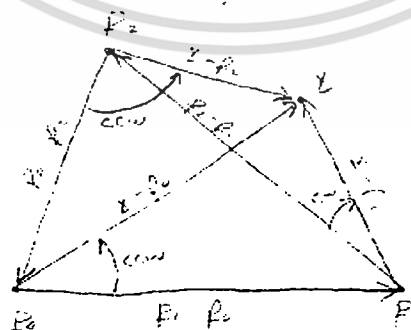
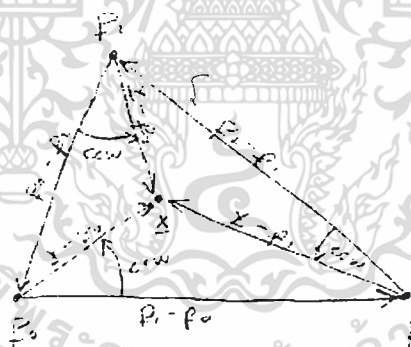
รูปที่ 1.17 ภายในของสามเหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.18 แบ่งเส้นของขอบเป็น 2 ส่วน

จากการกำหนดนี้ สามเหลี่ยมก็คือ ด้านซ้ายของเส้นตรงที่กำหนดโดย จุด P_0 และเวกเตอร์ $P_1 - P_0$, ด้านซ้ายของเส้นตรงที่กำหนดโดย จุด P_1 และเวกเตอร์ $P_2 - P_1$, และด้านซ้ายของเส้นตรงที่กำหนดโดย จุด P_2 และเวกเตอร์ $P_0 - P_2$



รูปที่ 1.19 ทดสอบจุด x ใดๆ ว่าอยู่ในหรือนอกของสามเหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งที่สำคัญ คือ จุดมุมของสามเหลี่ยมต้องเรียงแบบทวนเข็มนาฬิกา

เนื่องจาก จุดมุมทั้งสามจุดและจุดที่ขนานบอยู่ในแกน 3 มิติ ดังนั้นวิธีที่ง่ายที่สุดในการตรวจสอบการตามเข็มนาฬิกาหรือทวนเข็มนาฬิกาคือการทำ cross product และเราได้กำหนด normal vector(n) ของระนาบซึ่งมีทิศทางทางพุ่งออกมาทางด้านหน้าไว้เรียบร้อยแล้ว นั่นคือ ด้านที่มีการเรียงแบบทวนเข็มนาฬิกา ให้เวกเตอร์ v และ w เป็นเวกเตอร์ใด ๆ บนระนาบของสามเหลี่ยม เราจะได้ว่า $v \times w$ จะตั้งฉากกับระนาบ และจากกฎมือขวาบอกเราว่าการทำ cross product จะชี้ไปด้านหน้าก็ต่อเมื่อ w มีทิศทางทวนเข็มนาฬิกาจาก v (เมื่อมองจากด้านหน้า) นั่นหมายถึงเราสามารถบอกทิศทางว่าตามเข็มนาฬิกาหรือทวนเข็มนาฬิกาได้โดยการตรวจสอบค่า cross product ว่าทิศทางเดียวกับ normal vector หรือไม่

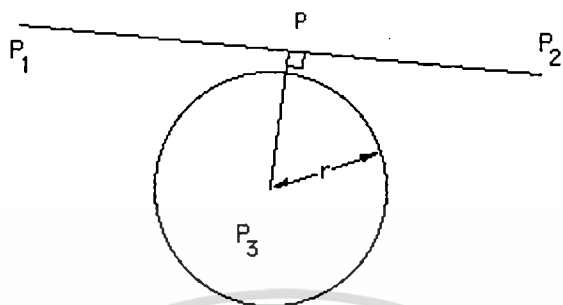


รูปที่ 1.20 การตรวจสอบค่ามุม

เวกเตอร์สองเวกเตอร์ที่ขนานกันจะชี้ไปในทางเดียวกันก็ต่อเมื่อค่า dot product ของเวกเตอร์ทั้งคู่จะเป็นบวก ดังนั้น การตรวจสอบจุดในสามเหลี่ยมจะเป็นไปตามเงื่อนไข

$$\begin{aligned} (P_1 - P_0) \times (x - P_0) \cdot n &\geq 0 \\ (P_2 - P_1) \times (x - P_1) \cdot n &\geq 0 \\ (P_0 - P_2) \times (x - P_2) \cdot n &\geq 0 \end{aligned} \quad (1.9)$$

2.3.4 ตรวจสอบการชนกันของเส้นตรงหรือขอบของสามเหลี่ยมกับทรงกลม



รูปที่ 1.21 การชนกันของเส้นตรงหรือขอบของสามเหลี่ยมกับทรงกลม

จุด $P(x, y)$ ที่อยู่บนเส้นตรงถูกกำหนดโดยจุด 2 จุดคือ $P_1(x_1, y_1, z_1)$ และ $P_2(x_2, y_2, z_2)$ ซึ่งสามารถเขียนใหม่ได้โดย[16]

$$P = P_1 + u(P_2 - P_1) \quad (1.10)$$

หรือแต่ละพิกัด

$$\begin{aligned} x &= x_1 + u(x_2 - x_1) \\ y &= y_1 + u(y_2 - y_1) \\ z &= z_1 + u(z_2 - z_1) \end{aligned} \quad (1.11)$$

สมการวงกลมที่มีจุดศูนย์กลางคือจุด $P_3(x_3, y_3, z_3)$ และมีรัศมีเท่ากับ r สามารถเขียนแทนได้โดย

$$(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2 = r^2 \quad (1.12)$$

จุด P ที่ชนกับเส้นตรงจะต้องเป็นจุดที่อยู่บนเส้นตรงที่ตั้งฉากกับเส้นตรง P_1P_2 กับจุดศูนย์กลางของวงกลม P_3 จะได้

$$(P_3 - P) \cdot (P_2 - P_1) = 0 \quad (1.13)$$

แทนสมการเส้นตรงในสมการข้างบน

$$[P_3 - P_1 - u(P_2 - P_1)] \cdot (P_2 - P_1) = 0 \quad (1.14)$$

หาของ u คือ

$$u = \frac{(x_3 - x_1)(x_2 - x_1) + (y_3 - y_1)(y_2 - y_1) + (z_3 - z_1)(z_2 - z_1)}{(x_2 - x_1)(x_2 - x_1) + (y_2 - y_1)(y_2 - y_1) + (z_2 - z_1)(z_2 - z_1)} \quad (1.15)$$

ถ้า u มีค่าอยู่ระหว่าง 0 กับ 1 แสดงว่าจุด P อยู่ระหว่าง P_1 กับ P_2 และค่าของจุดนี้ น้อยกว่าค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลม แสดงว่าทรงกลมนี้สัมผัสกับเส้นตรง

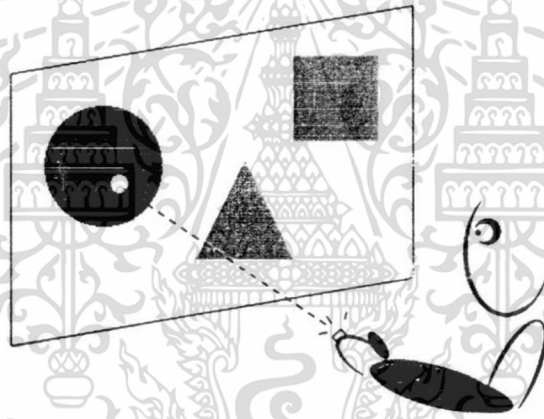


บทที่ 3

เทคนิคการเลือกและเคลื่อนย้ายวัตถุด้วยท่าทางของมือ

3.1 การเลือกรูปแบบการปฏิสัมพันธ์ที่เหมาะสม

เทคนิค Light-Pointing เป็นเทคนิคที่พัฒนาขึ้น จากพื้นฐานการใช้งานของ อุปกรณ์ชี้ด้วยแสงเลเซอร์ metaphor เนื่องจาก อุปกรณ์ชี้ด้วยแสงเลเซอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานอย่างแพร่หลายในลักษณะที่ผู้ใช้ต้องการ นำเสนอผลงาน โดยชี้แสงเลเซอร์ไปยังวัตถุที่อยู่บนจอภาพ เพราะลำแสงที่ออกจาก อุปกรณ์ดังกล่าว จะตกกระทบบนจอภาพที่มีมุมมองในลักษณะ 2 มิติ แทนที่จะเป็นมุมมองในลักษณะ 3 มิติ ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะการใช้งานทั่วไปด้วยอุปกรณ์ชี้ด้วยแสงเลเซอร์

เทคนิคนี้ได้เลียนแบบการเคลื่อนที่ของจุดแสงที่ตกกระทบบนจอภาพ โดยผู้ใช้ถืออุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งแบบ 6 แกนไว้ในมือคล้ายกับการใช้อุปกรณ์ชี้ด้วยแสงเลเซอร์ ทำงานด้วยการส่ายข้อมือเพื่อบังคับจุดแสงที่อยู่บนจอภาพ เพื่อชี้ หรือเลือกวัตถุได้ และสามารถเพิ่มความสามารถในการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุในแนวแกน z ได้ โดยทั่วไปลักษณะของวัตถุ 3 มิติ จะประกอบด้วยคุณสมบัติแกน x , y และ z ลักษณะการทำงานจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือส่วนแรกจะคำนวณตำแหน่งการตกกระทบของลำแสงบนจอภาพ คือระยะจากผู้ใช้กับจอภาพ คือระยะ y ดังรูปที่ 3.2 โดยนำค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์ของอุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งแบบ 6 แกน ซึ่งประกอบด้วยค่าตำแหน่งของแกน x , y , z และค่าองศาการหมุน yaw, pitch, roll ส่วนที่สองจะคำนวณตำแหน่งของ

ถ้าแสงตกกระทบเพื่อนำไปสร้างลำแสงเสมือนจริง คือระยะ x ดังรูปที่ 1.10 เพื่อนำไปเลือก และปรับเปลี่ยนตำแหน่งวัตถุในแนวแกน z ที่อยู่ภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือนจริง ซึ่งได้นำสมการที่ 3.1 มาประยุกต์ใช้ดังนี้

$$L^2 = x^2 + 2xy \sin \theta + y^2 \quad (3.1)$$

- เมื่อ x คือ ระยะห่างระหว่างจุดมองภาพ ไปยังวัตถุ
 y คือ ระยะห่างระหว่างจุดผู้ใช้ ไปยังจุดมองภาพ
 L คือ ระยะห่างระหว่างจุดผู้ใช้ ไปยังวัตถุ

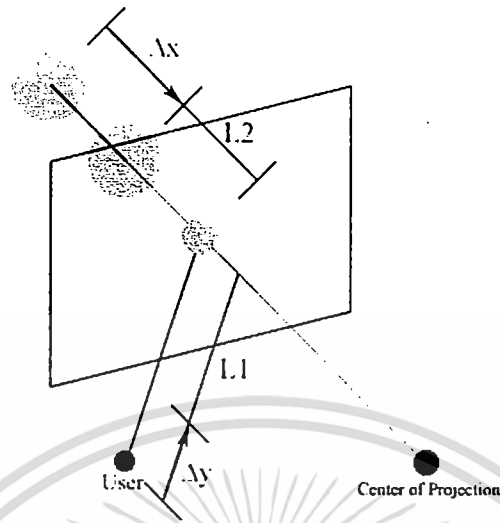
จากสมการที่ 3.1 เมื่อได้ความยาวระยะ L สามารถนำระยะดังกล่าวทำการปฏิสัมพันธ์การเลือก หรือปรับเปลี่ยนวัตถุในแนวแกน x, y, z ได้



รูปที่ 3.2 แสดงเทคนิค Light-Pointing ขณะเลือกวัตถุที่ฉายลงบนจอภาพที่ตำแหน่ง A และเคลื่อนที่ไปตำแหน่ง B

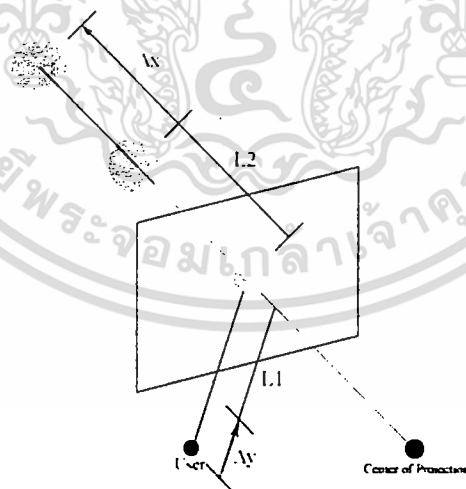
การปรับเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุในแนวแกน z นั้น ได้พัฒนาวิธีการมีด้วยกัน 3 วิธีดังต่อไปนี้

- วิธีที่หนึ่ง (method#1) แบบระยะคงที่มีอัตราส่วนคือ 1:1 เมื่อผู้ใช้เคลื่อนที่มือเข้าหรือออกห่างจากตัวผู้ใช้ (Δy) 1 หน่วย วัตถุจะเคลื่อนที่ (Δx) ตามผู้ใช้ในลักษณะ 1 หน่วยเช่นกัน ดังรูปที่ 3.2 และได้ นำสมการที่ 3.3 มาประยุกต์ใช้ดังนี้



รูปที่ 3.3 แสดงวิธีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งวัตถุในแนวแกน z โดยอาศัย mirror metaphor

- วิธีที่สาม (method#3) แบบระยะเป็นสัดส่วน มีอัตราส่วนคือ 1:2 เมื่อผู้ใช้เคลื่อนที่มือเข้าหรือออกห่างจากตัวผู้ใช้ 1 หน่วย วัตถุจะเคลื่อนที่ตามผู้ใช้ในลักษณะ 2 หน่วย ดังรูปที่ 3.4 และได้นำสมการที่ 3.3 มาประยุกต์ใช้ดังนี้



รูปที่ 3.4 แสดงวิธีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งวัตถุในแนวแกน z แบบระยะเป็นสัดส่วน

สมการที่ 3.3

$$\frac{\Delta x}{\Delta y} = \frac{L2}{L1} \quad (3.3)$$

เมื่อ Δx คือ ระยะการเคลื่อนที่ของวัตถุจากตำแหน่งตั้งต้นไปยังตำแหน่งใดๆ

Δy คือ ระยะการเคลื่อนที่ของตำแหน่งมือของผู้ใช้

$L1$ คือ ระยะห่างระหว่างจุดผู้ใช้ ไปยังจอภาพ

$L2$ คือ ระยะห่างระหว่างจุดมองภาพไปยังตำแหน่งตั้งต้นของวัตถุ

3.2 การเลือกท่ามือที่เหมาะสมกับการนำมาประยุกต์ใช้

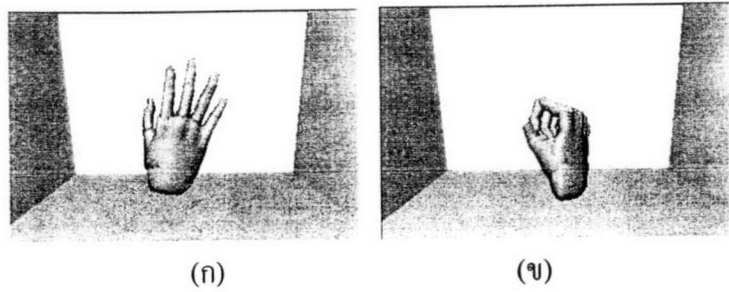
ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ปัจจัยในการเลือกท่ามือที่เหมาะสมมีดังต่อไปนี้

- ประสิทธิภาพ (efficiency) พิจารณาความเร็ว และอัตราความผิดพลาดของท่ามือในระหว่างปฏิบัติงาน
- ง่ายต่อการเรียนรู้ (ease of use) ผู้ใช้สามารถเข้าใจความหมายจากท่ามือ จากการใช้งานในชีวิตประจำวัน เช่น ท่ามือจับวัตถุ เป็นคั่น
- จดจำวิธีการใช้งานได้ (retention) ท่ามือบางลักษณะ ไม่มีความหมาย เมื่อเพิ่มคำสั่งให้กับท่ามอดังกล่าว ผู้ใช้สามารถรู้จำท่ามือ และประยุกต์ใช้งานได้

ลักษณะท่ามือที่เหมาะสม ควรสอดคล้องกับการออกคำสั่งในการปฏิบัติงาน ให้เป็นไปในลักษณะธรรมชาติ ถ้ายิ่งบิดจากท่าที่ใช้งานในชีวิตประจำวันมากเท่าไร ยิ่งไม่เหมาะสม เนื่องจากเกิดความเมื่อยล้า และยากต่อการใช้งาน

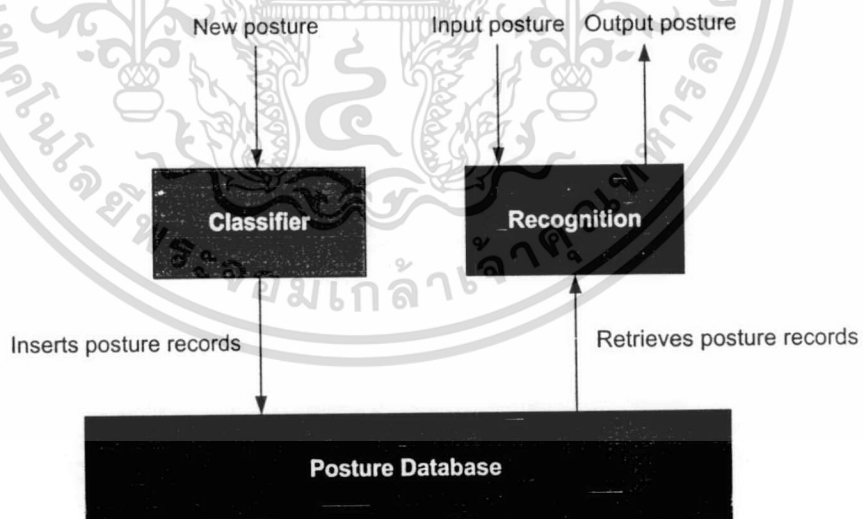
3.3 การจับการเคลื่อนไหว และท่าทางของมือ

- การจัดเก็บข้อมูลท่ามือเพื่อทำการทดลอง โดยกำหนดรูปแบบท่ามือสำหรับการปฏิสัมพันธ์กับวัตถุเสมือนจริงจากถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ โดยรูปแบบของท่ามือที่เกิดขึ้น ต้องอยู่ในเงื่อนไขที่เข้าใจได้ง่าย เรียนรู้ได้เร็ว สามารถสื่อถึงความหมายที่จะนำไปใช้ และไม่อยู่ในรูปแบบที่ก่อให้เกิดความเมื่อยล้าได้ง่าย ตัวอย่างท่ามือบางส่วน ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงตัวอย่างท่ามือ (ก) ท่ามือแสดงสถานะว่าง (ข) ท่ามือจับวัตถุ

- ใช้โปรแกรมต้นแบบที่พัฒนาขึ้นจัดเก็บข้อมูล ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้ Sensor ของถุงมืออิเล็กทรอนิกส์เพียง 12 ตัว ประกอบด้วยนิ้วหัวแม่มือ นิ้วชี้ และนิ้วกลาง โดยจัดเก็บข้อมูลท่ามือในแต่ละท่ามือเป็นจำนวน 10 ครั้ง ลงฐานข้อมูล ชนิดของข้อมูลที่เก็บเป็นข้อมูลดิบ ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0-255 โดยขึ้นอยู่กับ การโค้งงอของนิ้วมือ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ หาค่าเฉลี่ยในแต่ละชุดข้อมูลท่ามือ เพื่อนำไปประมวลผลใน ส่วนการจำแนก และรู้จำท่ามือ โดยอ้างอิง และเปรียบเทียบกับข้อมูลที่มีอยู่ใน ฐานข้อมูล ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แผนผังขั้นตอนการจัดเก็บข้อมูล จำแนก และรู้จำท่ามือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการจำแนก และรู้จำท่ามือ

- เทคนิคการจำแนก และรู้จำท่ามือ ในงานวิจัยนี้ใช้ Minimum Distance Algorithm Pattern Recognition ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่ง ดังสมการที่ 3.4 ดังนี้

$$\theta_i(x) = -\min_j d(x, x^{i,j}) \quad (3.4)$$

เมื่อ x คือ ข้อมูลที่รับมาจาก Sensor ของถุงมืออิเล็กทรอนิกส์

$x^{i,j}$ คือ ข้อมูลเฉลี่ยของแต่ละ Sensor ในแต่ละท่ามือที่ถูกเก็บในฐานะข้อมูล

i, j คือ ตำแหน่งแถว และคอลัมน์ในแต่ละชุดข้อมูล

โดยที่ $d(x, x^{i,j})$ คือ ฟังก์ชันหาค่าระยะห่างจาก x และ $x^{i,j}$

จากสมการที่ 3.6 เมื่อผู้ใช้ส่งค่าท่ามือจากถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ในขณะที่ทำการทดลองเข้ามาในส่วนฟังก์ชัน $d(x, x^{i,j})$ ซึ่งเป็นส่วนการรู้จำ ถ้าค่าท่ามอดังกล่าวมีค่าระยะห่างใกล้เคียงกับค่าท่ามือเฉลี่ยที่ถูกเก็บในฐานะข้อมูล ผู้ใช้สามารถใช้ฟังก์ชันที่ถูกกำหนดรูปแบบไว้ในโปรแกรมต้นแบบได้

3.4 ขั้นตอนการทดลอง

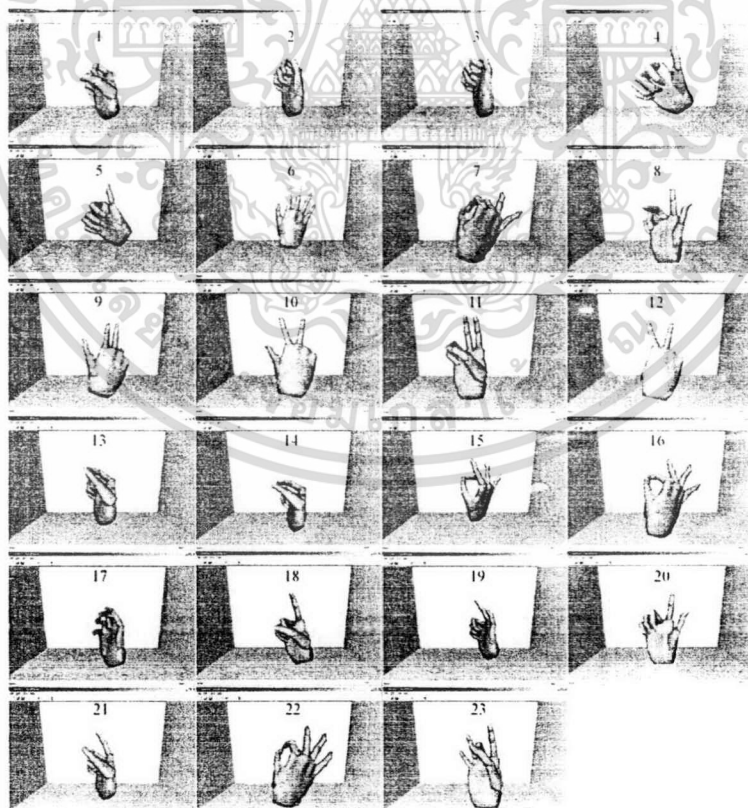
- อุปกรณ์ และโปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย
- ถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ ได้รับการพัฒนาโดย บริษัท Immersion ซึ่งเป็นอุปกรณ์ส่วนที่ติดต่อระหว่างโปรแกรมกับผู้ใช้ ประกอบด้วย Sensor ตรวจสอบการบิดงอส่วนต่างๆ ของนิ้วมือ และข้อมือ ทั้งหมดมี 22 ตัว สัญญาณที่ถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ส่งออกมาเป็นแอนะล็อก และถูกแปลงเป็นดิจิทัลเพื่อใช้งานกับคอมพิวเตอร์ต่อไป
- อุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งแบบ 6 แกน ได้รับการพัฒนาโดยบริษัท Polhemus รุ่น ISOTRAK II ประกอบด้วยตัวส่งสัญญาณ 1 ตัว และตัวรับ 2 ตัว สัญญาณที่ใช้เป็นสัญญาณชนิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าระยะทำการ 72 นิ้ว ทำงานตรวจวัดตำแหน่ง x, y, z, yaw, pitch และ roll หน่วยวัดที่ใช้เป็นเซนติเมตร
- เครื่องคอมพิวเตอร์ CPU Pentium 4 2.0 GHz หน่วยความจำ 256 MB การ์ดแสดงผล Geforce4 MX ระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows XP Professional SP2
- โปรแกรมต้นแบบ พัฒนาเพื่อจัดเก็บข้อมูลที่ถูกส่งออกมาจากถุงมืออิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจำแนก รู้จำท่ามือ สร้างการปฏิสัมพันธ์ เทคนิคการปฏิสัมพันธ์ภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือนจริงเพื่อนำไปใช้ในการทดลอง โดยพัฒนาจากภาษา Visual C++ 6.0 โดยใช้ Virtual Hand Library ของบริษัท Immersion เพื่อใช้ติดต่อกับถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ และอุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งแบบ 6 แกน ส่วนการแสดงผลกราฟิกพัฒนาโดย OpenGL Library

การทดลองที่ 1

- เพื่อทำการคัดเลือกท่ามือพื้นฐานที่ประกอบด้วยนิ้วหัวแม่มือ นิ้วชี้ และนิ้วกลาง โดยท่ามือที่นำมาทำการทดลองเบื้องต้นมีท่ามือทั้งหมด 23 ท่า ดังรูปที่ 3.1 โดยมีอาสาสมัคร 7 คน มีขั้นตอนดังนี้ อาสาสมัครทำท่ามือ และบอกความหมายพื้นฐานที่เข้าใจ โดยสอดคล้องกับการใช้งานในชีวิตประจำวันตามลำดับ เพื่อนำมาใช้ตอบแบบสอบถามในส่วนของระดับความเข้าใจในลักษณะท่ามือธรรมชาติ มี 5 ระดับ คือ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย น้อยที่สุด หลังจากนั้นใช้แต่ละท่ามือทำการเลือกวัตถุสลับกับการพักมือไว้บนโต๊ะ เพื่อนำมาใช้ตอบแบบสอบถามในส่วนของระดับความเมื่อยล้าที่เกิดจากการใช้งานในมี 5 ระดับ คือ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย น้อยที่สุด



รูปที่ 3.7 แสดงท่ามือ 23 ท่า ที่นำมาทำการทดลองเบื้องต้น เพื่อหาท่ามือพื้นฐานที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองที่ 1 จากการทำแบบสอบถาม ท่ามือที่เกิดความคุ้นเคย หรือใช้บ่อยครั้ง พบว่ามีระดับความเมื่อยล้า น้อยถึงน้อยที่สุด ในขณะเดียวกัน ท่ามือที่มีระดับความเข้าใจในลักษณะ ท่ามือธรรมชาติมาก แต่มีระดับความเมื่อยล้ามากที่สุด ไม่เหมาะแก่การนำมาประยุกต์ใช้งาน ผลจากการทดลองเบื้องต้นได้ตามตารางที่ 3.1 โดยเกณฑ์ที่นำมาพิจารณาจะอยู่ในช่วงระดับความเมื่อยล้า น้อย น้อยที่สุด และระดับความเข้าใจในลักษณะท่ามือธรรมชาติ คือ มาก มากที่สุด โดยท่ามือพื้นฐานที่ได้จากการทดลองเบื้องต้น ได้แก่ ท่ามือที่ 1, 6, 12, 18 และ 22 ซึ่งแต่ละท่ามือสามารถ กำหนดฟังก์ชันเพื่อให้สอดคล้องกับการนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับโปรแกรมต้นแบบ หรือเทคนิคการ ปฏิสัมพันธ์ได้

ท่ามือ	ระดับความเมื่อยล้า					ระดับความเข้าใจในลักษณะท่ามือธรรมชาติ				
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
1				85.71429	14.28571	71.42857	28.57143			
2			42.85714	42.85714	14.28571		14.28571	42.85714	42.85714	
3	71.42857	28.57143								100
4			57.14286	14.28571	28.57143	85.71429	14.28571			
5	28.57143	42.85714		28.57143			28.57143	28.57143		42.85714
6					100	100				
7	14.28571	28.57143	57.14286					42.85714	14.28571	42.85714
8		14.28571	85.71429			14.28571	14.28571	57.14286	14.28571	
9		28.57143	71.42857				85.71429	14.28571		
10	14.28571	42.85714	42.85714			14.28571	28.57143	14.28571	28.57143	14.28571
11		14.28571	71.42857	14.28571			14.28571	57.14286	28.57143	
12			28.57143	71.42857		71.42857	28.57143			
13			28.57143	28.57143	42.85714		42.85714	42.85714		14.28571
14			28.57143	57.14286	14.28571		28.57143	14.28571	28.57143	28.57143
15		28.57143	57.14286	14.28571			28.57143	42.85714	28.57143	
16		28.57143	14.28571	42.85714	14.28571		14.28571	42.85714	28.57143	14.28571
17	85.71429		14.28571			28.57143	57.14286	14.28571		
18			14.28571	28.57143	57.14286	100				
19		28.57143	42.85714	14.28571	14.28571	14.28571		28.57143	14.28571	42.85714
20		14.28571	42.85714	28.57143	14.28571	28.57143	57.14286	14.28571		
21		42.85714	57.14286					14.28571	57.14286	28.57143
22			14.28571	57.14286	28.57143	100				
23		57.14286	14.28571	28.57143			14.28571		57.14286	28.57143

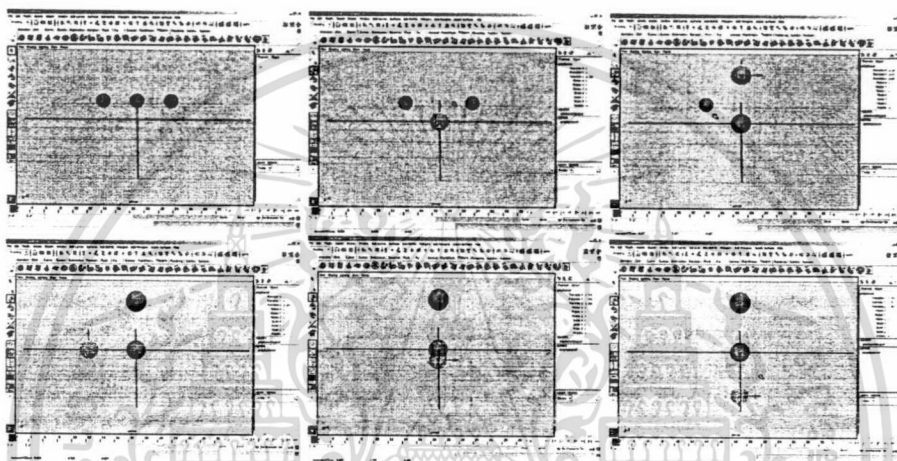
ตารางที่ 3.1 แสดงเปอร์เซ็นต์ในแต่ละระดับ ในแต่ละท่ามือ

การทดลองที่ 2

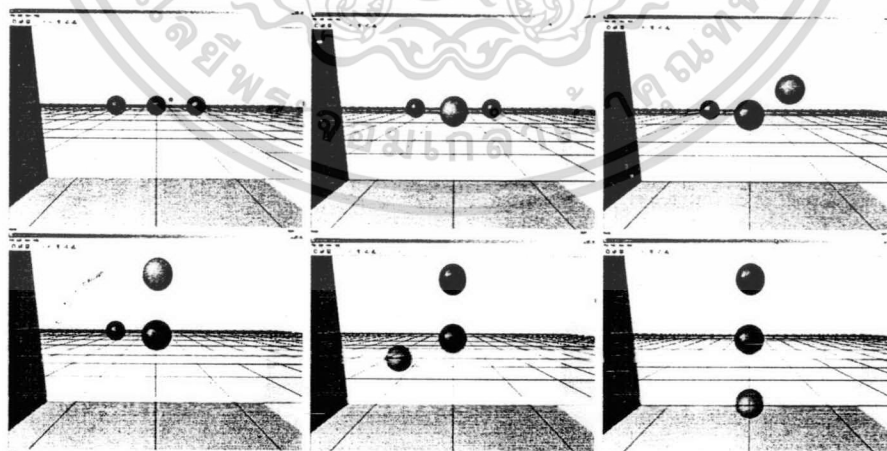
- สร้างโปรแกรมต้นแบบภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือนจริง เพื่อทำการทดลองเปรียบเทียบส่วนติดต่อกับผู้ใช้เพื่อควบคุมวัตถุภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือนจริง ระหว่างโปรแกรมสร้างวัตถุ 3 มิติทั่วไป โดยมีอุปกรณ์ที่นำมาทำการทดลองคือ เม้าส์ กับ โปรแกรมต้นแบบที่สร้างขึ้น โดยมีอุปกรณ์ที่นำมาทำการทดลองคือ ถุงมืออิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้ท่ามือในการควบคุมวัตถุ ภายใต้เงื่อนไขเหมือนกันทั้ง 2 โปรแกรม ดังนี้ คือ ลูกทรงกลม 3 ลูกเรียงอยู่ในแนวนอนระนาบแกน x โดยชั้นแรกอาสาสมัคร 5 คน แต่ละคนทำการเลือกลูกทรงกลมที่อยู่ตรงกลาง และปรับเปลี่ยนตำแหน่งของลูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทรงกลม เข้าหาอาสาสมัครในแนวแกน z 10 เซนติเมตร ไปยังจุดตัดที่ทำเครื่องหมายไว้ ชั้นที่สองอาสาสมัครทำการเลือกลูกทรงกลมทางขวา และปรับเปลี่ยนตำแหน่งของลูกทรงกลม ให้อยู่บนลูกทรงกลมกลางในแนวระนาบแกน y ชั้นสุดท้ายคือ อาสาสมัครทำการเลือกลูกทรงกลมทางซ้าย และปรับเปลี่ยนตำแหน่งของลูกทรงกลม ให้อยู่ได้ลูกทรงกลมกลางในแนวระนาบแกน y ดังรูปที่ 3.8 และ 3.9



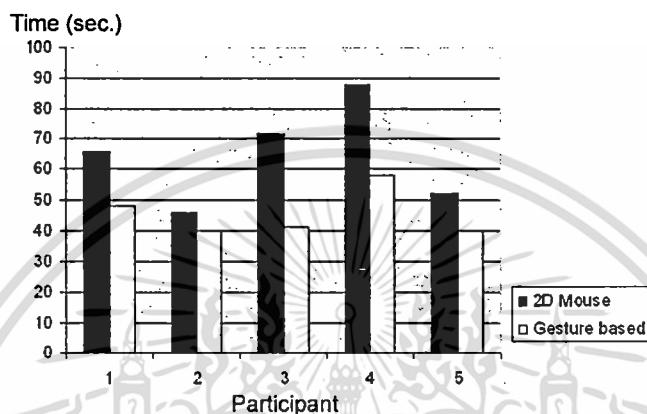
รูปที่ 3.8 แสดงการปฏิสัมพันธ์การเลือก และปรับเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุ กับ โปรแกรมสร้างวัตถุ 3 มิติทั่วไปโดยใช้เมาส์



รูปที่ 3.9 แสดงการปฏิสัมพันธ์การเลือก และปรับเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุ กับ โปรแกรมต้นแบบ โดยใช้ท่ามือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

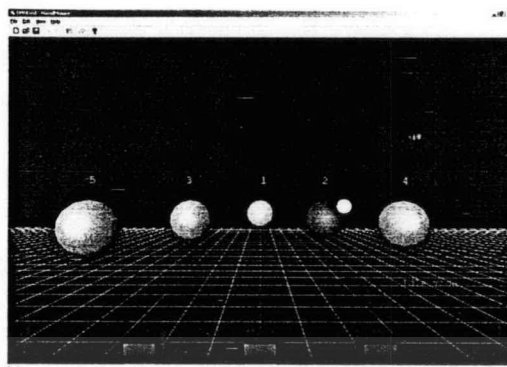
จากการทดลองที่ 2 การปฏิสัมพันธ์ภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือนจริงระหว่าง โปรแกรม ต้นแบบ และ โปรแกรมสร้างวัตถุ 3 มิติทั่วไป พบว่าการประยุกต์ใช้ท่ามือที่มีลักษณะที่เป็น ธรรมชาติของมนุษย์ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน โดยลดขั้นตอนในส่วน โหมคการ กระทำปรับเปลี่ยนวัตถุ ผู้ใช้เข้าใจการทำงานโดยไม่จำเป็นต้องฝึกฝน ดังรูปที่ 3.10



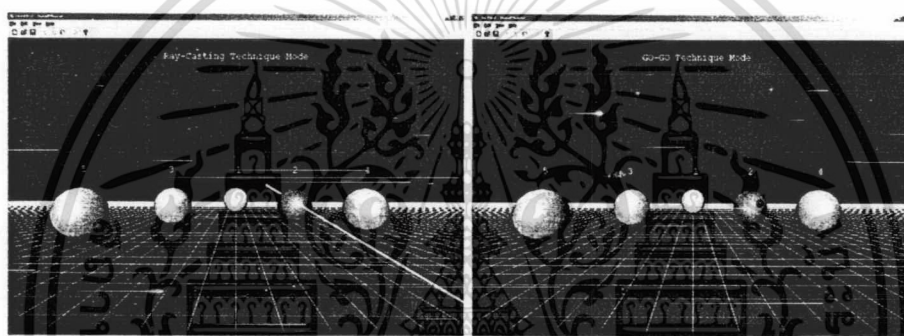
รูปที่ 3.10 แสดงค่าเฉลี่ยของผลการทดลอง ระหว่างการใช้เมาส์ กับท่ามือ

การทดลองที่ 3

- เป็นการทดสอบประสิทธิภาพในการเลือกวัตถุ โดยได้นำวิธีการที่นำมาทดสอบ ได้แก่ เทคนิค Go-Go, เทคนิค Ray-Casting และเทคนิค Light-Pointing ภายใต้เงื่อนไข ดังนี้ นำอาสาสมัคร 6 คน ทำการทดลองการปฏิสัมพันธ์การเลือกลูกทรงกลม 5 ลูก ขนาดเท่ากัน วางเรียงในแนวระนาบแกน x ห่างกัน ลูกละ 5 เซนติเมตร และในแนวระนาบแกน y ระยะเท่ากัน แต่มีความลึกต่างกัน โดยมีมุมมองแบบภาพเดี่ยว ซึ่งอยู่ภายใต้สภาวะแวดล้อมเดียวกัน ให้อาสาสมัครยืนห่างจากหน้าจอแสดงผล 100 เซนติเมตร ทำการเลือกลูกทรงกลม โดยมีลำดับการเลือกเป็นตัวเลขปรากฏอยู่บน ลูกทรงกลมแบบสุ่มตามลำดับ ดังรูปที่ 3.11 และ 3.12



รูปที่ 3.11 แสดงเทคนิค Light-Pointing

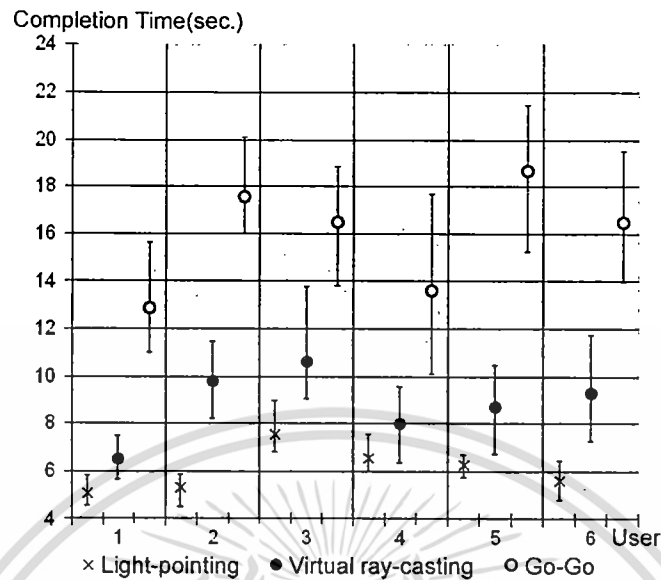


(ก)

(ข)

รูปที่ 3.12 แสดง (ก) เทคนิค Ray-Casting (ข) เทคนิค Go-Go

จากการทดลองที่ 3 จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิคการปฏิสัมพันธ์พื้นฐาน ได้แก่ เทคนิค Go-Go และเทคนิค Ray-Casting กับเทคนิค Light-Pointing ที่ได้พัฒนาขึ้น เพื่อประยุกต์ใช้กับมุมมองแบบมุมมองภาพเดี่ยว พบว่าเมื่อผู้ใช้นำเทคนิค Light-Pointing มาประยุกต์ใช้ สามารถลดระยะเวลาการเลือกวัตถุได้ในระดับหนึ่ง ดังรูปที่ 3.13



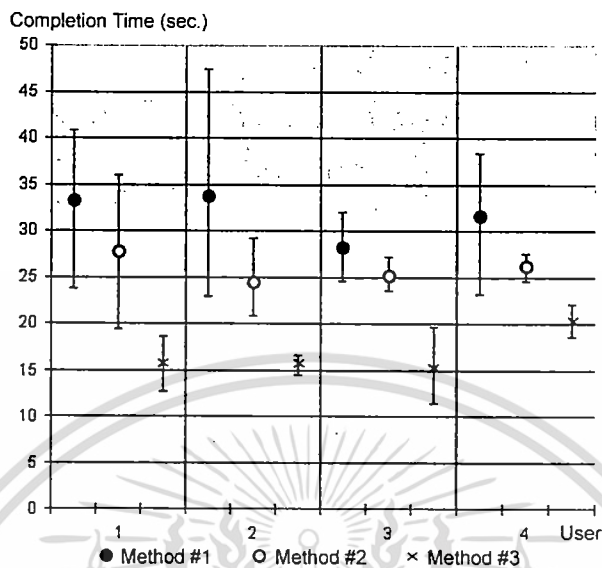
รูปที่ 3.13 แสดงค่าเฉลี่ยของเวลาในการเลือกวัตถุ โดยใช้เทคนิคการปฏิสัมพันธ์แต่ละเทคนิค

การทดลองที่ 4

- เป็นการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการปรับเปลี่ยนตำแหน่งวัตถุในแนวแกน z โดยใช้เทคนิค Light-Pointing ซึ่งมีด้วยกัน 3 วิธี คือ วิธีที่ใช้ระยะแบบคงที่, วิธีที่ใช้แบบกระจกเงา และวิธีที่ใช้ระยะแบบเป็นสัดส่วน ซึ่งแต่ละวิธีมีระยะทำการหนึ่งช่วงแขน ภายใต้เงื่อนไขดังนี้ อาสาสมัครถืออุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งแบบ 6 แกน ไว้ที่มือขวา ถือในลักษณะเหมือนกับการใช้อุปกรณ์ชี้ด้วยแสงเลเซอร์ และถือเมาส์ไว้ที่มือซ้ายในลักษณะนิ้วมือพร้อมกดปุ่มเมาส์ขวาเพื่อส่งคำสั่งในการปรับเปลี่ยนตำแหน่งลูกทรงกลม โดยที่อาสาสมัครยืนอยู่หน้าจอภาพ ระยะห่าง 100 เซนติเมตร และลูกทรงกลมซึ่งมีระยะห่างจากจุดมองภาพในแนวแกน z คือ -40 เซนติเมตร ให้อาสาสมัครทำการเลือก และปรับเปลี่ยนตำแหน่งลูกทรงกลมในแนวแกน z ไปยังตำแหน่งที่ 16, -30 และ -0.5 เซนติเมตร ในแต่ละตำแหน่งจะมีเส้นบอกระยะ และขนาดของวัตถุ เพื่อช่วยต่อการทดลอง การปรับเปลี่ยนตำแหน่งทำได้โดย เมื่อจุดลำแสงจำลองมีสถานะชนกับวัตถุ ซึ่งสถานะดังกล่าวหมายถึงวัตถุนั้นถูกเลือก ให้อาสาสมัครกดปุ่มขวาของเมาส์เพื่อทำการปรับเปลี่ยนตำแหน่งลูกทรงกลมในแนวแกน z

จากการทดลองที่ 4 จากการเปรียบเทียบวิธีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งวัตถุ ในแนวแกน z ของเทคนิคการปฏิสัมพันธ์ Light-Pointing พบว่าวิธีที่สาม คือ การปรับเปลี่ยนตำแหน่งในแนวแกน z แบบระยะเป็นสัดส่วน สามารถลดระยะเวลาในการทำงานได้ในระดับหนึ่ง และมีการตอบสนองที่ดีกว่าวิธีที่หนึ่ง และวิธีที่สอง ดังรูปที่ 3.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 แสดงค่าเฉลี่ยของเวลาในแต่ละวิธีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งวัตถุในแนวแกน z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

อัลกอริทึมในการคำนวณการกระจายของแรงและจำลองการแตกหัก

4.1 อัลกอริทึมในการคำนวณการกระจายของแรง

4.1.1 ขั้นตอนการกระจายแรง

อัลกอริทึมการกระจายแรง มีวิธีการดังนี้ ขั้นแรกสร้าง queue ของโหนดที่มีแรงมากกระทำ โดยใช้วิธี breadth-first search เลเซอร์ของโหนดในแต่ละความลึกจะถูกสร้าง ค้นหาโหนดในเลเซอร์ที่ลึกลงไปเรื่อย ๆ จนถึงความลึกที่กำหนดไว้ (penetration depth) โดยไม่ต้องคำนึงถึงการเรียงลำดับของโหนดในเลเซอร์เดียวกัน และโหนดที่ถูกเข้าถึงแล้วในเลเซอร์ก่อนหน้า จะไม่ถูกเข้าถึงอีกในเลเซอร์ต่อ ๆ ไป หลังจากนั้น จะกระจายแรงไปยังโหนดต่อโหนดตามลำดับของ queue

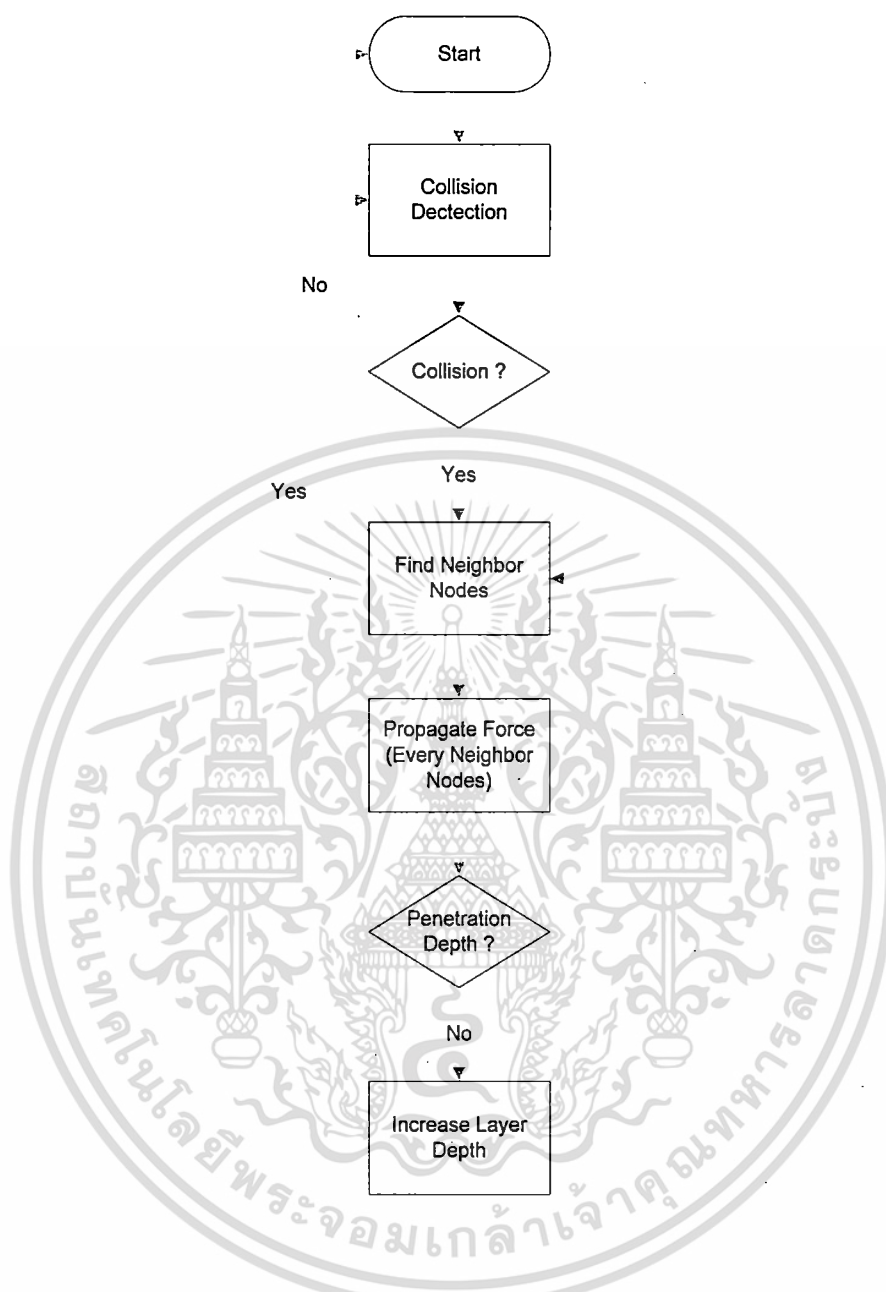
จากรูปที่ 4.1 เป็นขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมทั้งหมด ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้ คือ

- **Collision Detection**

การตรวจสอบการชนกันของส่วนกราฟิก ระหว่างโมเดลของวัตถุกับจุดปลายเสมือน (end point) ของอุปกรณ์จำลองแรง กระทำได้โดยอาศัยอัลกอริทึมตามที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 แต่ในส่วนจำลองสำหรับการทดลองนี้จะใช้การตรวจสอบการชนกันของทรงกลมกับจุดเท่านั้น เพราะเราโมเดลสปริงที่ประกอบไปด้วยโหนดต่าง ๆ ที่เป็นจุด และตรวจสอบการชนของจุดปลายเสมือนที่เป็นทรงกลมเท่านั้น ดังนั้นสมการการตรวจสอบการชนจะเป็นดังสมการที่ 4.1

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2 \leq r^2 \quad (4.1)$$

จุด (x, y, z) เป็นตำแหน่งของโหนดและ (x_0, y_0, z_0) เป็นจุดศูนย์กลางของทรงกลมของจุดปลายเสมือนที่มีรัศมีเท่ากับ r



รูปที่ 4.1 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

- **Find Neighbor Nodes**

ในขั้นตอนนี้จะทำการค้นหาโหนดข้างเคียงของโหนดที่เกิดการชน โดยอาศัยการประกาศตัวแปรโครงสร้างของโหนด และใช้อาร์เรย์ขนาด 1×6 เป็นตัวเก็บโหนดข้างเคียง การค้นหาโหนดข้างเคียงนี้เกิดขึ้นในตอนเริ่มต้นของโปรแกรม การประกาศตัวแปรโครงสร้างของโหนดเป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Struct

```
{
    float mass;           //กำหนดค่ามวลของโหนด
    int neighbor[6];     //กำหนดโหนดข้างเคียงทั้งหมด 6 โหนด
    Vector velocity;     //ความเร็ว
    Vector force;        //แรงที่กระทำที่โหนด
    Vector position;     //ตำแหน่งของโหนด
    float springLength;  //ความยาวของสปริงในสภาวะปกติ (natural length)
    float springConstant; //ค่าคงที่ของสปริง
    float frictionConstant; //ค่าคงที่ของการหน่วงสปริงเนื่องจากความเร็ว
    bool propagated = false; //กำหนดค่าเป็น true เมื่อมีการกระจายแรงมายังโหนดนี้
                             //แล้ว
} node;
```

● Propagate Force

ในขั้นตอนนี้ทำการกระจายแรงที่เกิดขึ้นทั้งหมดไปยังโหนดข้างเคียงทั้งหมดจนถึงค่าความลึกที่กำหนด แต่ถ้ายังไม่ใช่ความลึกที่กำหนด จะกลับไปค้นหาโหนดข้างเคียงทั้งหมดจากเลเยอร์ที่ผ่านมา และกระจายแรงไปเรื่อย ๆ โดยสรุปมีขั้นตอนดังนี้

for (i = 1 to no. of neighbor)

- คำนวณหาแรงเนื่องจากสปริง จากตำแหน่งของโหนดข้างเคียง

spring force = -springConstant * x;

x : ระยะห่างระหว่างโหนดทั้งสอง

- คำนวณหาแรงหน่วงของสปริงเนื่องจากความเร็ว

friction force = -frictionConstant * velocity;

- อัปเดตค่าแรงให้กับโหนดข้างเคียง

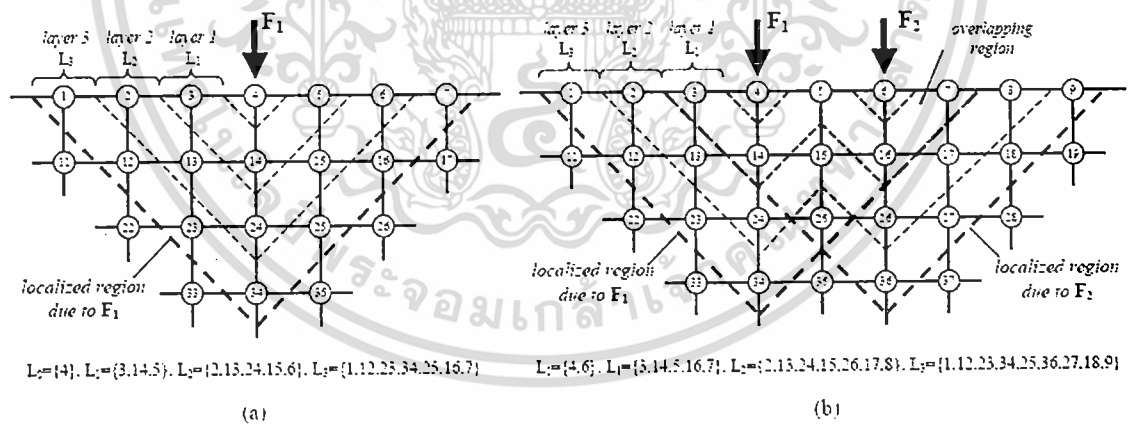
- คำนวณหาค่าความเร็วใหม่ของโหนดข้างเคียง
velocity = (force / mass) * timestep;
- คำนวณหาค่าตำแหน่งใหม่ของโหนดข้างเคียง
- position = velocity * timestep;

- **Increase Layer Depth**

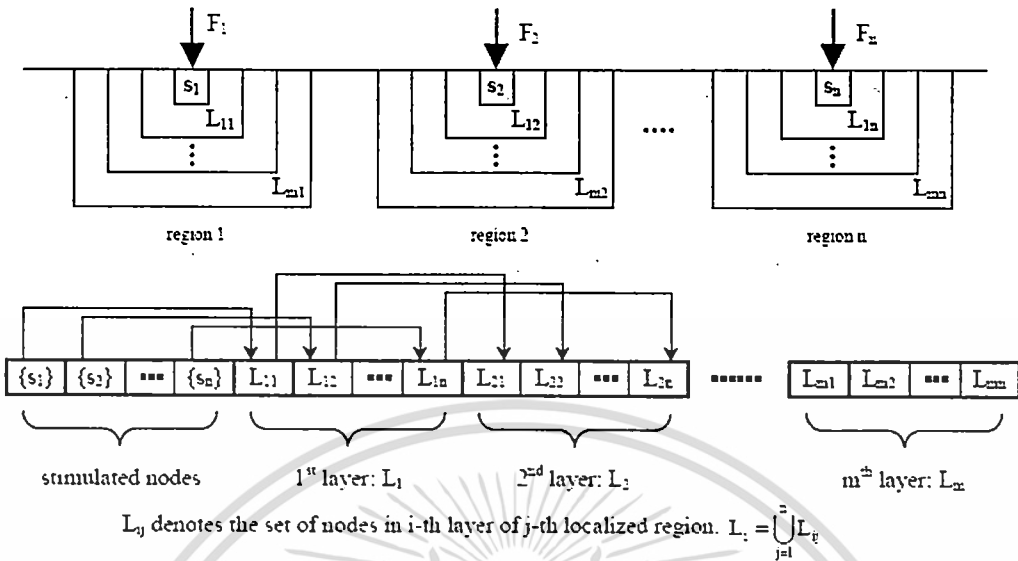
ขั้นตอนนี้ทำการเพิ่มจำนวนความลึกของเลเยอร์ไปเรื่อย ๆ ทีละเลเยอร์จนถึงความลึกที่เรา กำหนด

4.1.2 กรณีมีแรงภายนอกเพียงแรงเดียว (Single External Force Case)

การสร้าง queue จะไม่ยุ่งยากเมื่อมีแรงภายนอกเพียงแรงเดียว จากรูปที่ 4.2(a) ถ้าความลึกของการกระจายมีค่าเท่ากับ 3 และโหนด 4 มีแรงกระทำ queue แรกจะถูกสร้างโดยมีโหนด 4 เป็นสมาชิก จาก queue แรก จะสร้าง queue ต่อไปเรื่อย ๆ โดยการเพิ่มความลึกเลเยอร์ เช่น L_1 , L_2 และสุดท้าย L_3 แรงจะถูกกระจายไปตามลำดับจากโหนดสู่โหนดในเลเยอร์ 1 ไปถึงเลเยอร์ 3



รูปที่ 4.2 การกระจายของแรงใน 2 มิติ ที่ความลึกเท่ากับ 3 (a) มีแรงภายนอกแรงเดียว กระจายไปตามลำดับของเลเยอร์ L_0 , L_1 , L_2 และ L_3 (b) เมื่อมีแรงภายนอก 2 แรงกระทำและพื้นที่การกระจายเกิดการซ้อนทับกัน เลเยอร์ของโหนดใน 2 พื้นที่จะถูกรวมกัน



รูปที่ 4.3 การสร้าง queue ของโหนดสำหรับการกระจายแรง

4.1.3 กรณีมีแรงภายนอกหลายแรง (Multiple External Forces Case)

แรงภายนอกหลาย ๆ แรง ส่งผลต่อพื้นที่ย่อยหลายพื้นที่ (จากรูปที่ 4.3) สำหรับวัตถุที่มีแรงภายนอก n แรง โหนดที่มีแรงภายนอกมากกระทำ S_1 ถึง S_n จะถูกย้ายมาที่ queue แรก สำหรับแต่ละโหนด S_i ของพื้นที่ย่อยที่ i , L_{i1} จะถูกสร้างและเซตของโหนด ที่ถัดจาก S_i ในเลเยอร์แรก และเลเยอร์ L_{i1} จะถูกสร้างขึ้น ขั้นตอนนี้จะถูกทำซ้ำไปเรื่อย ๆ โดยค้นหาโหนดใกล้เคียงของทุก ๆ โหนดใน L_{i1} เพื่อหาเลเยอร์ถัดไป $L_{i,j+1}$ จนกระทั่งครบตามความลึกที่กำหนด

การกระจายของแรงในพื้นที่ย่อย ๆ เหล่านี้ มีความสัมพันธ์กับ โหนดในเลเยอร์ที่มีความลึกเท่ากัน แต่ในพื้นที่ย่อยที่ต่างกันต้องมีลำดับเดียวกัน queue แรกประกอบไปด้วยโหนดที่มีแรงมากระทำทั้งหมด (S_1, S_2, \dots, S_n) ในพื้นที่ย่อย n พื้นที่ ตามไปด้วยโหนดในเลเยอร์ถัดไป เช่น $L_1 = L_{11} \cup L_{21} \cup \dots \cup L_{n1}$ โหนดในเลเยอร์อื่นๆ จะถูกลำดับโดยเพิ่มความลึกจาก L_2 ถึง L_m , โดยเป็นเลเยอร์ลึกสุด โหนดในเลเยอร์ที่ลึกลงไปจะถูกเข้าถึงเพียงครั้งเดียวเมื่อพื้นที่เกิดการซ้อนทับกัน รูปที่ 4.2(b) แสดงการรวมกันของพื้นที่ที่มีการซ้อนทับกันเมื่อมีแรงมากระทำ 2 แรง

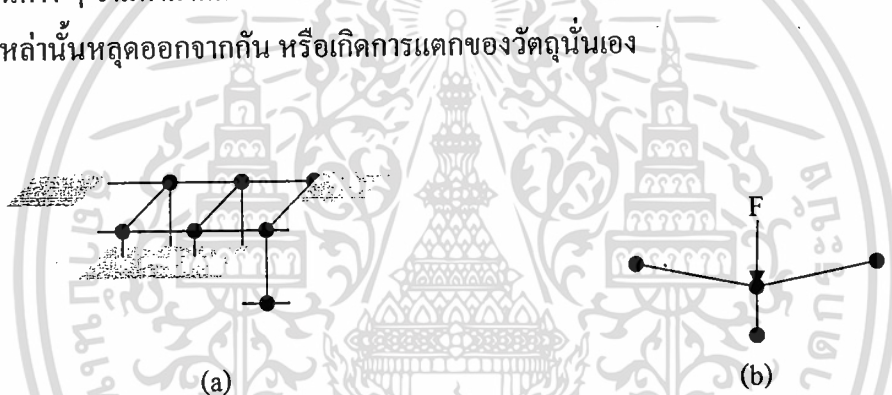
4.2 การจำลองการแตกหัก

จากหลักการที่กล่าวมาข้างต้น เราจะนำไปจำลองการแตกหักของวัตถุโดย กำหนดให้วัตถุรูปทรงใด ๆ ประกอบด้วยเอลิเมนต์เล็ก ๆ ทรงลูกบาศร์ ต่อกันเป็นรูปทรงวัตถุนั้น แต่ละเอลิเมนต์มีแรงยึดเกาะ (bond) กับเอลิเมนต์ข้างเคียงซึ่งอาจมีค่าไม่เท่ากันของแต่ละคู่ของเอลิเมนต์ เอลิเมนต์ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื่อมต่อกันจะถูกสมมติให้จุดศูนย์กลางเป็นโหนด เชื่อมต่อไปยังเอลิเมนต์ข้างเคียงด้วยกิ่ง (branch) ดังรูปที่ 4.4(a) โดยกิ่งที่ถูกเชื่อมต่อกันนี้ เปรียบเสมือนแรงยึดเกาะระหว่างเอลิเมนต์ ถ้าแรงยึดเกาะระหว่างเอลิเมนต์มีค่ามาก หมายถึงส่วนนี้มีความแข็งแรงมาก จะส่งผลให้อากาศการแตกของส่วนนี้เป็นไปได้ยาก

เมื่อมีแรงภายนอกกระทำที่เอลิเมนต์ใด ๆ ที่เป็นส่วนพื้นผิวของวัตถุ จะส่งผลให้พื้นผิวมีการยุบตัวลงเล็กน้อยมีลักษณะเหมือนคาน ทำให้วัตถุเกิดความเค้น (stress) และความเครียด (strain) ขึ้นและเกิดการกระจายของแรง ไปยังเอลิเมนต์ข้างเคียงผ่านทางโครงสร้างภายในของวัตถุที่เป็นโหนดและกิ่ง และกระจายแรงนี้ไปเรื่อย ๆ ตามเลขอร์สูงสุดที่เรากำหนดไว้ และหลังการกระจายแรงสิ้นสุดแล้ว เราจะคำนวณหาค่าความเค้นในแต่ละส่วนต่าง ๆ ของวัตถุ และตรวจสอบค่าความเค้นในส่วนต่าง ๆ ว่ามีค่ามากกว่าค่าแรงยึดเกาะระหว่างเอลิเมนต์หรือไม่ ถ้ามีค่ามากกว่าจะส่งผลให้เอลิเมนต์เหล่านั้นหลุดออกจากกัน หรือเกิดการแตกของวัตถุนั้นเอง



รูปที่ 4.4 (a) โครงสร้างของวัตถุที่ประกอบด้วยเอลิเมนต์เล็ก ๆ ประกอบกันและโครงสร้างภายในที่เป็นแมสสปริง (b) การยุบตัวของวัตถุทำให้เกิดความเค้นขึ้น

4.3 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface) ที่ใช้ในการศึกษานี้ประกอบไปด้วย GUI (Graphic User Interface) และ HUI (Haptic User Interface) โดยส่วนแรกนั้นสามารถสร้างขึ้นมาได้โดยใช้ OpenGL ซึ่งเป็น Software Development Kit สำหรับการสร้างภาพกราฟิกทั่วไป ส่วนหลังนั้นเกิดจากการใช้อุปกรณ์ตอบสนองต่อแรงทำงานร่วมกับ 3DTouch ซึ่งเป็น Software Development Kit สำหรับใช้ติดต่อกับอุปกรณ์ตอบสนองต่อแรงโดยเฉพาะ

ทฤษฎีพื้นฐานที่จำเป็นต้องใช้ในการดำเนินงานวิจัยนั้น จะประกอบไปด้วย คุณลักษณะของอุปกรณ์ตอบสนองต่อแรง ไลปารี 3DTouch และ OpenGL

4.3.1 อุปกรณ์ตอบสนองต่อแรง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินโครงการคือ Personal Haptic Interface Mechanism (PHANToM) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ต้องติดตั้งเป็นโต๊ะ ออกแบบมาเพื่อจำลองการสร้างแรงต้านให้กับผู้ใช้ ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 อุปกรณ์ Personal Haptic Interface Mechanism (PHANToM)

ส่วนที่สำคัญที่สุดก็คือส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้ ซึ่งส่วนปลายจะมีปลอกสวมนิ้ว ซึ่งสามารถหมุนได้รอบทิศทาง ส่วนแขนก็สามารถขยับได้ อุปกรณ์ชนิดนี้มีค่าของการอิสระเป็น 6 การทำงานจะจำลองการสัมผัสกับวัตถุที่ปลอกหุ้มปลายนิ้ว ส่วนการส่งแรงให้กับสภาวะเวกเตอร์เสมือนจะเกิดที่ปลอกสวมนิ้วเช่นกัน แต่จะไม่มีอาการหมุน ตัวกระตุ้นจะติดตั้งให้สมดุล นั่นคือว่า อุปกรณ์ชนิดนี้จะมีความสมดุลอยู่ในตัวอยู่แล้ว จะไม่มีการชดเชยแรงโน้มถ่วงในขณะที่มอเตอร์กำลังหมุน อุปกรณ์จะมีขนาด $8 \times 17 \times 25$ เซนติเมตร และสร้างกำลังด้วยมอเตอร์กระแสตรงจำนวน 3 ตัว และตรวจถอดสัญญาณแบบแสง 1 ตัวซึ่งติดตั้งอยู่บนคานของตัวกระตุ้น ตัวส่งผ่านสัญญาณจะใช้สายเคเบิลพร้อมด้วยลูกรอก และทำให้กลไกการทำงานง่ายขึ้น โดยการยึดมอเตอร์ 2 ตัว กับสายเคเบิลเส้นเดียว PHANToM จะมีความเฉื่อยประมาณ 0.1 กิโลกรัม ความเสียดทานสถิตอยู่ที่ 0.1 นิวตัน ส่งแรงต้านได้สูงสุดอยู่ที่ 10 นิวตัน การควบคุมนั้นจะควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์ ในการส่งสัญญาณนั้น เมื่อมีแรงซึ่งกระทำโดยผู้ใช้ ระบบจะตอบสนองต่อเหตุการณ์ที่ผู้ใช้กระทำนั้น ๆ โดยการสร้างแรงต้านกลับมายังผู้ใช้

4.3.2 3DTouch HDAPI

Haptic Device Application Programming Interface (HDAPI) เป็นส่วนที่ใช้ติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ตอบสนองต่อแรง ซึ่งหมายความว่า เราสามารถเขียนโปรแกรมควบคุมอุปกรณ์เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอบสนองต่อแรงนี้ได้โดยใช้ HDAPI ข้อดีของการใช้ HDAPI แทนที่ GHOST SDK ก็คือสามารถที่จะควบคุมในระดับล่างได้ซึ่งก็หมายความว่าสามารถที่จะควบคุมอุปกรณ์เซอร์โวมอเตอร์ได้ การใช้ HDAPI ช่วยให้ส่งแรงไปยังอุปกรณ์ได้ง่ายและมีความยืดหยุ่น อีกทั้งยังสามารถจัดการกับข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการส่งแรงช่วยให้การทำงานกับอุปกรณ์ตอบสนองต่อแรงเป็นไปอย่างปลอดภัย

HDAPI ประกอบไปด้วย 2 โมดูลคือ ส่วนของอุปกรณ์ซึ่งจะทำหน้าที่จัดการในเรื่องของการติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ตอบสนองต่อแรง และในส่วนตัวจัดการการทำงานซึ่งจะดูแลในส่วนของการทำงาน เช่นการส่งแรง เป็นต้น

รูปแบบการใช้งาน HDAPI ทั่วๆ ไปนั้นเริ่มจาก

1. กำหนดค่าเริ่มต้นให้กับตัวแปรต่างๆ
2. สร้างฟังก์ชันที่เป็น Callback function สำหรับเป็นตัวจัดการเกี่ยวกับอุปกรณ์ ช่วยให้สามารถที่จะรู้ตำแหน่ง ความเร็ว หรือค่าอื่นๆ ของอุปกรณ์ได้ นอกจากนี้ยังสามารถส่งแรงไปยังตัวอุปกรณ์ได้
3. ส่งคำสั่งไปยังอุปกรณ์ให้เริ่มทำงาน สามารถเริ่มส่งแรงไปยังอุปกรณ์ได้
4. เริ่มการทำงานของ Callback function
5. จบการทำงานของ Callback function

4.3.3 Open Graphic Library (OpenGL)

OpenGL เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการติดต่อกับอุปกรณ์ทางการแสดงผลรูปภาพทั้งในส่วนของจอภาพและการ์ดแสดงผล จะประกอบไปด้วยโพสิเจอร์และฟังก์ชัน เพื่อใช้ในการโปรแกรมเพื่อสร้างกราฟิกที่มีคุณภาพสูง โดยเฉพาะกับการสร้างกราฟิกแบบ 3 มิติ ซึ่ง OpenGL นั้นเริ่มแนะนำในปี พ.ศ.2534 โดยบริษัท Silicon Graphics Incorporated (SGI)

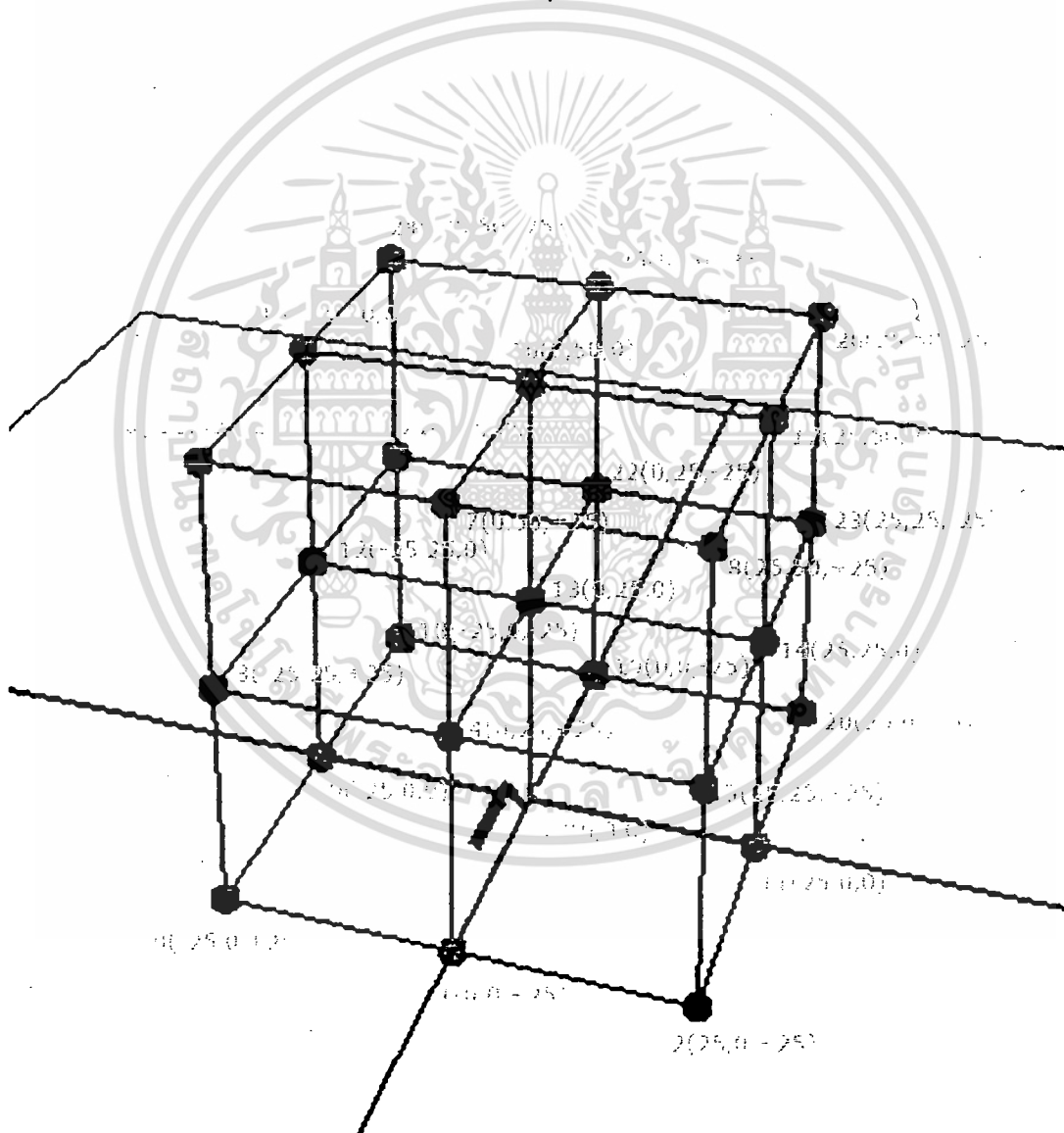
4.4 ขั้นตอนการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาและจำลองการกระจายของแรง โดยกำหนดค่าความลึกในการกระจาย ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. สร้างโมเดลแมสสปริง 3 มิติซึ่งประกอบไปด้วยโหนดทั้งหมด 27 โหนด (โหนดที่ 0 ถึง 26) โดยค่าพารามิเตอร์ของโหนดและการจำลองเป็นดังนี้
 - กำหนดค่ามวลของแต่ละโหนดให้มีค่าเท่ากับ 1 kg (กิโลกรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สปริงมีค่าความยาวในสภาวะปกติเท่ากับ 25 m (เมตร)
 - ค่าคงที่ของสปริง (spring constant) เท่ากับ 0.8 N/m (นิวตันต่อเมตร)
 - ค่าคงที่ของการหน่วงการเคลื่อนที่ของสปริงเท่ากับ 0.5 N/(m/s) (นิวตันต่อเมตรต่อวินาที)
 - ช่วงรอบเวลาการทำงาน (time step) เท่ากับ 0.65 s (วินาที)
2. ใช้อุปกรณ์จำลองแรงเสมือน และที่โหนดและเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งอื่น เพื่อวัดการกระจายของแรงและตำแหน่งที่เปลี่ยนไปทุก ๆ โหนดหลังการกระจายแรงไป



รูปที่ 4.6 โครงสร้างแมสสปริงที่ใช้ในการจำลอง

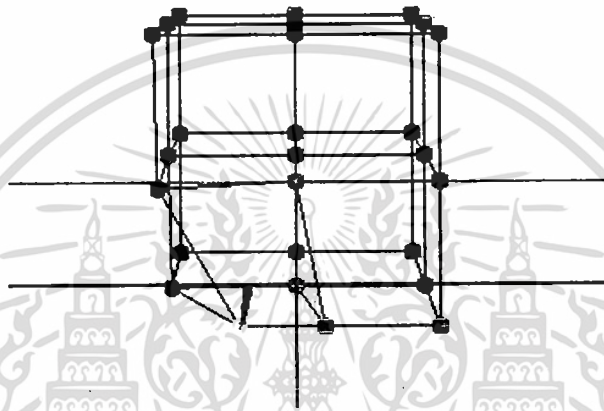
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลการทดลอง

4.5.1 ผลการทดลองที่ 1

โหนด 0 เปลี่ยนตำแหน่งไปที่ $(-10, 0, 25)$ จะมีแรงและการเปลี่ยนตำแหน่งไปดังนี้

- มีการกระจายของแรงไป 1 เลเซอร์

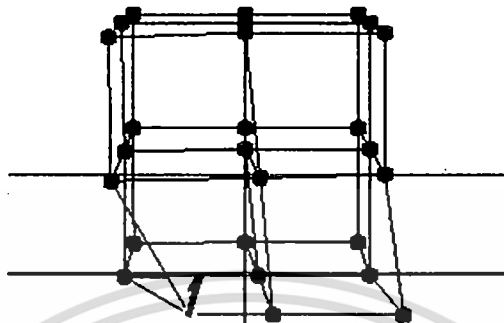


รูปที่ 4.7 ตำแหน่งที่เปลี่ยนไปของโหนด 0 ในการกระจายแรง 1 เลเซอร์

ตารางที่ 4.1 แรงและตำแหน่งที่เปลี่ยนไปของโหนด 0 ในการกระจาย 1 เลเซอร์

โหนด	แรงที่กระทำ	ตำแหน่งที่เปลี่ยนไป
1	$12i$	$(5.07, 0, 25)$
3	$1.71i - 2.85j$	$(-24.28, 23.8, 25)$
9	$1.71i + 2.85k$	$(-24.28, 0, 1.2)$

- มีการกระจายของแรงไป 2 เลเยอร์



รูปที่ 4.8 ตำแหน่งที่เปลี่ยนไปของ โหนด 0 ในการกระจายแรง 2 เลเยอร์

ตารางที่ 4.2 แรงและตำแหน่งที่เปลี่ยนไปของ โหนด 0 ในการกระจาย 2 เลเยอร์

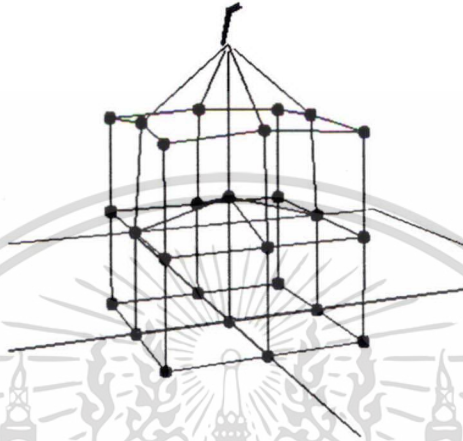
โหนด	แรงที่กระทำ	ตำแหน่งที่เปลี่ยนไป
1	$12i$	$(5.07, 0, 25)$
3	$1.71i - 2.85j$	$(-24.28, 23.8, 25)$
9	$1.71i + 2.85k$	$(-24.28, 0, 1.2)$
2	$7.8i$	$(28.36, 0, 25)$
4	$-1.25i - 0.83j$	$(2.72, 24.31, 25)$
6	$0.58i - 1.9j$	$(-24.75, 49.2, 25)$
10	$-1.52i + 0.83k$	$(2.72, 0, 0.7)$
12	$0.37i + 0.59j + 0.9k$	$(-24.37, 24.46, 0.41)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 ผลการทดลองที่ 2

โหนด 16 เปลี่ยนตำแหน่งไปที่ $(0, 70, 0)$ จะมีแรงและการเปลี่ยนตำแหน่งไปดังนี้

- มีการกระจายของแรงไป 1 เลเยอร์

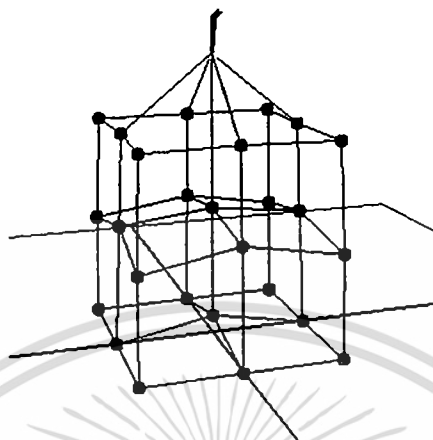


รูปที่ 4.9 ตำแหน่งที่เปลี่ยนไปของโหนด 16 ในการกระจายแรง 1 เลเยอร์

ตารางที่ 4.3 แรงและตำแหน่งที่เปลี่ยนไปของโหนด 16 ในการกระจาย 1 เลเยอร์

โหนด	แรงที่กระทำ	ตำแหน่งที่เปลี่ยนไป
7	$3.5j - 4.38k$	$(0, 51.48, 23.15)$
13	$16j$	$(0, 31.76, 0)$
15	$4.38i + 3.5j$	$(-23.15, 51.48, 0)$
17	$-4.38i + 3.5j$	$(23.15, 51.48, 0)$
25	$3.5j + 4.38k$	$(0, 51.48, -23.15)$

- มีการกระจายของแรงไป 2 เลเยอร์



รูปที่ 4.10 ตำแหน่งที่เปลี่ยนไปของ โหนด 16 ในการกระจายแรง 2 เลเยอร์

ตารางที่ 4.4 แรงและตำแหน่งที่เปลี่ยนไปของ โหนด 16 ในการกระจาย 2 เลเยอร์

โหนด	แรงที่กระทำ	ตำแหน่งที่เปลี่ยนไป
7	$3.5j - 4.38k$	(0, 51.48, 23.15)
13	$16j$	(0, 31.76, 0)
15	$4.38i + 3.5j$	(-23.15, 51.48, 0)
17	$-4.38i + 3.5j$	(23.15, 51.48, 0)
25	$3.5j + 4.38k$	(0, 51.48, -23.15)
4	$4.43j + 0.47k$	(0, 28.88, 23.92)
6	$1.36i + 0.75j + 0.88k$	(-24.35, 51.28, 24.16)
8	$-1.36i + 0.75j + 0.88k$	(24.35, 51.28, 24.16)
10	$10.6j$	(0, 4.48, 0)
12	$1.16i - 1.2j$	(-23.92, 29.04, 0)
14	$-1.16i - 1.2j$	(23.92, 29.04, 0)
24	$-0.88i + 0.75j + 1.37$	(-24.16, 51.28, -24.35)
26	$0.88i + 0.75j + 1.37$	(24.16, 51.28, -24.35)
22	$-1.2j + 1.16k$	(0, 29.04, -23.92)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 สรุปผลการวิจัย

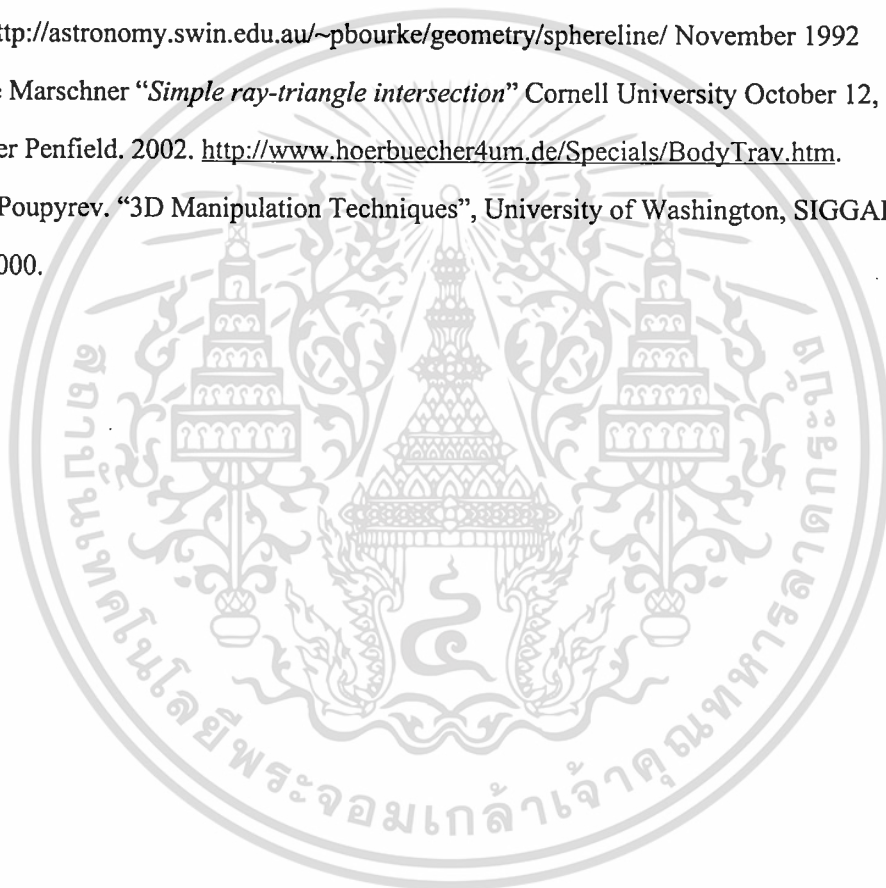
- จากผลการทดลองพบว่า วิธีการกระจายของแรงในเลย์เออร์ที่จำกัด โดยใช้โมเดลแบบแมสสปริงนี้เป็นวิธีที่ง่าย ไม่ซับซ้อน การคำนวณค่อนข้างเร็ว เหมาะกับงานแบบ real time
- การประยุกต์ใช้งานกับอุปกรณ์จำลองแรงเสมือน มีความเป็นไปได้และใช้งานได้ดี
- จากโมเดลในการจำลองการกระจายของแรงนี้ จะนำไปพัฒนาต่อในการจำลองการแตกของวัตถุที่มีความแข็งเมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ และพัฒนาต่อไปในการจำลองการชูดหินปูนโดยใช้อุปกรณ์จำลองแรง เพื่อฝึกหัดนักศึกษาทันตแพทย์ให้มีทักษะและประสบการณ์ในการชูดหินปูน



บรรณานุกรม

- [1] Doug A. Bowman. et. al. "Testbed Evaluation of Virtual Environment Interaction Technique", VRST 99, ACM, pp. 26-33, London, UK, 1999.
- [2] Ken Hinckley. et. al. "A survey of Design Issues in Spatial Input", UIST'94, ACM, pp. 213-222, Symposium on User Interface Software & Technology, 1994.
- [3] Ivan Poupyrev. et. al. "The Go-Go Interaction Technique: Non-linear Mapping for Direct Manipulation in VR", UIST'96, ACM, pp. 79-80, Seattle Washington, USA, 1996.
- [4] Doug A. Bowman and Larry F. Hodges, "An Evaluation of Techniques for Grabbing and Manipulating Remote Objects in Immersive Virtual Environments", Symposium on
- [5] Interactive 3D Graphics, ACM, pp. 35-38, Providence, Rhode Island, United States, 1997.
- [6] Inmaculada Rodriguez. et. al. "A Joint-level Model of Fatigue for the Postural Control of Virtual Humans", 5th Conference on Human and Computer, 2002.
- [7] Inmaculada Rodriguez. et. al. "A Model to Assess Fatigue at Joint-Level Using the Half-Joint Concept", Visualization and Data Analysis, Santa Clara, CA USA, 2003.
- [8] Ivan Poupyrev. et. al. "A Framework and Testbed for Studying Manipulation Techniques for Immersive VR", Symposium on Virtual Reality Software and Technology(VRST) 1997, ACM, pp. 21-28, Lausanne, Switzerland, 1997.
- [9] C. D. Jones. et. al. "Virtual Environment Interaction Techniques", UNC Chapel Hill Computer Science Tech, Report TR95-018, 1995.
- [10] ปราโมทย์ เดชะอำไพ. 2537. *ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [11] Sarah F. F. Gibson, Brian Mirtich. 1997. "*A survey of deformable modeling in computer graphics*." MA: Cambridge MERL-Mitsubishi Electric Research Laboratory Technical Report TR-97-19
- [12] K.S. Choi, H. Sun, PA Heng, JCY Cheng, "*A Scalable Force Propagation Approach for Web-based Deformable Simulation of Sift Tissues*", Web3D 2002, p. 185-193, USA, 2002.

- [13] O'Brien, J. F., Hodgins, J. K., "*Graphical Modeling and Animation of Brittle Fracture.*" The proceedings of ACM SIGGRAPH 99, Los Angeles, California, August 8-13, pp 137-146.
- [14] S.Gobron, N.Chiba, "*Crack pattern simulation based on 3D surface cellular automata*", The Visual Computer, Vol.17, pp.287-309, 2001
- [15] "The Distance from a Point to a Plane"
http://home.xnet.com/~fidler/triton/math/review/mat135/vector/L_Psp/Distp11.htm
- [16] Paul Bourk "Intersection of a Line and a Sphere (or circle)"
<http://astronomy.swin.edu.au/~pbourke/geometry/sphereline/> November 1992
- [17] Steve Marschner "*Simple ray-triangle intersection*" Cornell University October 12, 2003
- [18] Wilder Penfield. 2002. <http://www.hoerbuecher4um.de/Specials/BodyTrav.htm>.
- [19] Ivan Poupyrev. "3D Manipulation Techniques", University of Washington, SIGGAPH, 2000.





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2005 Fifth International Conference on
Information, Communications and Signal Processing

ICICS 2005

6-9 December 2005, Bangkok, Thailand

Co-Organised by :
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (Thailand)
Nanyang Technological University (Singapore)



**NANYANG
TECHNOLOGICAL
UNIVERSITY**

Technical Co-Sponsors :



สารนเป็น

เมวากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทงหามมเหตดแปลงเนอหา และตองอ้างองถึงเงาของเอกสารทุดคร้งทมการนาไปเซ

A Light-Pointing Method for Virtual Object Selection and Manipulation in A Monoscopic Viewing System

Pornchai Kanjanasupark

Faculty of Information Technology &
Research Center of Communication and Information
Technology
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand.
s4067003@kmitl.ac.th

Nopporn Chotikakamthorn

Faculty of Information Technology &
Research Center of Communication and Information
Technology
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand.

Abstract—Virtual object selection and re-location are two basic object manipulations that can be found in most VR/VE applications. Many interaction metaphors have been developed for object manipulation in VR/VE environments. Of particular interest is the ray-casting method. The method applies a light ray metaphor in selecting and moving a virtual object. However, the method implicitly requires a stereoscopic viewing system to be efficiently use. With a monoscopic viewing system, inefficiency of the method in terms of task completion time is demonstrated in this paper. For a system using a monoscopic viewing device, a light-pointing method based on a laser-pointer metaphor is proposed to alleviate the shortcoming of the original ray-casting method. Compared with the ray-casting method, it was found from the experiment that the proposed method is noticeably more efficient in terms of task completion time.

Keywords— virtual environment, virtual reality, human computer interaction

I. INTRODUCTION

Interaction within a virtual environment (VE) is typically composed of selection, manipulation, and release tasks [1]. In designing an efficient interaction technique, selection of an appropriate metaphor is very important. Appropriate interface metaphor increases a user's ability to perform 3D tasks intuitively. For certain 3D task to be performable or not sometimes depend heavily on the types of manipulation the chosen metaphor affords [6]. Various interaction metaphors have been proposed to handle basic object manipulation tasks, which include selection and translation. In [2], the "Go-Go" method is described to solve the limited working space of a direct hand manipulation metaphor. Although using a user hand to select, grasp, and move an object around in a virtual space [4] appears to be the most intuitive way of VR-based object manipulation, a human hand can only operate over a certain limited distance. A non-linear mapping of a real and virtual space was thus developed in [7] to circumvent the problem. However, this non-linear mapping is quite different from a real-life experience. Therefore, to efficiently use the method, skill must first be developed to some extent.

To solve the ease-of-use problem of the "Go-Go" technique, another interaction method based on the light ray

metaphor is described in [5]. The so-named "Ray-Casting" method adopts a light-pointing metaphor in selecting and moving objects in virtual space. It was reported [1, 2, 3, 8] that the method offers improved performance as compared with the "Go-Go" method. However, the ray-casting method implicitly requires that the viewing system is capable of displaying a stereoscopic image. A high-quality (high refreshing rate) interactive stereoscopic display system is quite expensive, limiting its use to either high-end applications or applications that do not demand high-quality display. In this paper, an interaction method based on a laser-pointer metaphor is developed. It differs from the light-casting metaphor of the ray-casting method in terms of a required viewing system. While the ray-casting method assumes that a user interacts with the system through an interactive stereoscopic display unit, the proposed method assumes that a user interacts with a standard monoscopic display device. The method can be treated as a 2D projected version of the ray-casting method. Based on VR/VE evaluation frameworks [2], it is shown in this paper that, under the monoscopic viewing system, the proposed method outperforms the ray-casting method in terms of task completion time, and ease of use.

The paper is organized as follows. First, two VE manipulation techniques, the Go-Go and ray-casting methods, are briefly described in Section II. Next, the light-pointing method based on the "laser-pointer" metaphor is described in Section III. Experimental results are provided in Section VI. Concluding remarks are given in Section V.

II. VE INTERACTION TECHNIQUES

In this section, two VE interaction techniques for performing basic object manipulations are described.

A. Virtual ray-casting technique

The motivation behind this technique was to allow a user to select and manipulate objects beyond the area of normal reach. The user points at objects with a virtual ray emanating from a virtual hand and then objects intersecting with the virtual ray-casting can be selected, attached, and manipulated. While this technique is simple to use, several studies and informal observations have shown that selecting small objects is

difficult. The advantage of the technique is that objects can be selected at arbitrary distance (in theory) and in a natural manner. The disadvantage is that it is difficult to select small and/or far-away objects [5]. Figure 1 shows a screen shot of our own implementation of a virtual ray-casting technique.

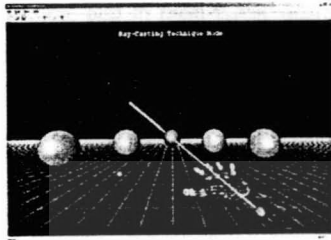


Figure 1. Screen shot of the virtual ray-casting technique while a user was selecting a virtual object with a virtual hand presence.

B. Go-Go interaction technique

The Go-Go interaction technique extends the virtual hand's reaching distance by using a non-linear mapping function applied to the user's real hand. The space around the user is split into two regions. While the user's real hand is within the first closer region, t (i.e., when distance to the hand is smaller than some threshold D as shown in "Figure 2"), the mapping is one-to-one and the movement of the virtual hand correspond to the real hand movement. However, as the user extends her/his hand beyond D , the mapping becomes non-linear and the virtual arm "stretches", thus permitting the user to access and manipulate remote objects. The maximum reaching distance afforded by the technique, however, is limited by the need to trade coverage against precision. As the distance increases, the technique maps small movement of the user hand to large movement of the virtual hand, thus reducing manipulation precision at a far distance [7].

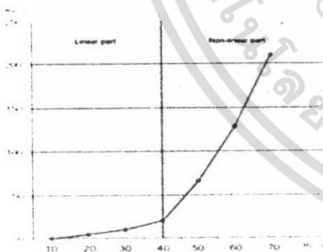


Figure 2. Non-linear mapping used in the Go-Go interaction technique.

III. THE "LIGHT-POINTING" TECHNIQUE

The proposed method has been developed based on the "laser-pointer metaphor". A laser pointer is a small light-emitting device that is widely used to point at an object on a screen upon which a presentation material is projected. The purpose is to draw audience attention to a particular point on a screen. Because the light from the device is projected onto a 2D image instead of a 3D object, the method based on this metaphor is termed "light-pointing", to differentiate it from the "ray-casting" method as described in Section II.

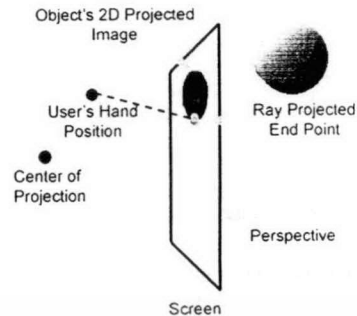


Figure 3. The light-pointing technique based on the laser-pointer metaphor.

Fig. 3 illustrates the main concept of the method. Conceptually, a light ray emitted from a point determined by a user hand position is projected onto a virtual screen, the same one that is used to create a 2D image of virtual objects shown on a system's display unit. In selecting and manipulating an object, a projected end of the light ray must be within the 2D projected area of the chosen object.

A. 2D light point projection

In our system, a 6-DOF tracking sensor is placed on one of the user wrists, to measure the position and orientation of a (virtual) light-pointing device. The light from the device is projected onto a virtual screen using a projective transform. The projection of the light ray is represented by a small circle on the screen at the position where the light ray (labeled "1" in "Figure 4") intersects with the projection plane. On the same figure, a hand pointing direction is also shown for the case of the ray-casting method. This illustrates the fact that the light ray of the ray-casting method does not go through the projected image of the object it points at. This disparity problem is the cause of usage difficulty experienced by our experiment participants in using the ray-casting method with a monoscopic display device.

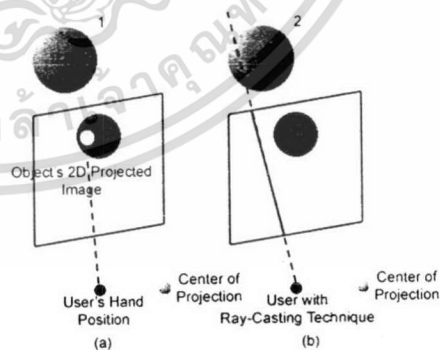


Figure 4. (a) Position of the light projected end point while selecting an object using the proposed method. , (b) The ray pointing direction of the ray-casting method when a user is selecting an object. (shown here for the case where a monoscopic display device is applied.)

From the result shown in Figure 9, all participants required shorter time in completing the object selection task when the proposed method was used, as compared with the times required when the other two methods were used.

To study the three methods' ease of learning, and their definite performance when performed by a well-trained user, a plot of each method's averaged task completion against five ordered trials, is shown in Figure 10. From the figure, the Go-Go method appears to have a slightly better learning rate, while the light-pointing method and the ray-casting method have comparable learning rate. Nevertheless, the definite performance after sufficient training of the proposed method is still the best among the three methods.

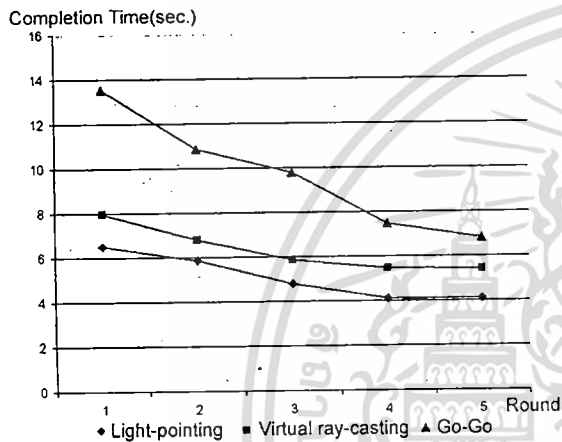


Figure 10. Averaged task completion time for each of five ordered trials.

V. CONCLUSION

Interaction techniques affect the efficiency of virtual object selection and manipulation. In this paper, the problem of the ray-casting method in performing object selection in a monoscopic viewing environment has been addressed. For a monoscopic viewing system, the light-pointing method for object selection has been proposed to solve the problem. The method can be viewed as the 2D projected version of the original ray-casting method. Experimental result demonstrates that the proposed method reduces the task completion time in selecting virtual objects, as compared with the ray-casting and Go-Go methods under the monoscopic viewing setting.

REFERENCES

- [1] D. A. Bowman, D. B. Johnson, and L. F. Hodges, "Testbed Evaluation of Virtual Environment Interaction Techniques," VRST99. ACM. London. UK, pp. 26-33, 1999.
- [2] I. Poupyrev, S. Weghorst, M. Billinghurst, and T. Ichikawa, "A Framework and Testbed for Studying Manipulation Techniques for Immersive VR," VRST'97. ACM. Lausanne Switzerland, pp. 21-28, 1997.
- [3] C. D. Jones, A. B. Smith, and E. F. Roberts, Virtual Environment Interaction Techniques, UNC Chapel Hill Computer Science Tech, Report TR95-018, 1995.
- [4] P. Kanjanasupark, and N. Chotikakamthorn, "Posture-based Human Interface Technique for 3D Graphic Modeling," ECTI-CON. Thailand, pp. 243-245, 2004.
- [5] I. Poupyrev, 3D Manipulation Techniques, University of Washington, SIGGRAPH, 2000.
- [6] K. Hinckley, R. Pausch, J. C. Goble, and N. F. Kassell, "A Survey of Design Issues in Spatial Input," UIST'94. ACM, pp. 213-222, November, 1994.
- [7] I. Poupyrev, M. Billinghurst, S. Weghorst, and T. Ichikawa, "The Go-Go Interaction Technique: Non-linear Mapping for Direct Manipulation in VR," UIST'96. ACM. USA, pp. 79-80, 1996.
- [8] D. A. Bowman and L. F. Hodges, "An Evaluation of Technique for Grabbing and Manipulating Remote Objects in Immersive Virtual Environments," Symposium on Interactive 3D Graphics. ACM. USA, pp. 35-38, 1997.