

เทคนิคการปรับแก้ด้วยวัตถุ 3 มิติโดยตรง สำหรับสภาวะแวดล้อมเสมือน
โดยใช้การแสดงผลภาพแบบโมโน

3D DIRECT MANIPULATION TECHNIQUE FOR VIRTUAL
ENVIRONMENT WITH MONOSCOPIC DISPLAY

พรชัย กาญจนสุภักดิ์
PORNOCHAI KANJANASUPARK

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

บัณฑิตศึกษาดุษฎี

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-0565-6

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เทคนิคการปรับเปลี่ยนวัตถุ 3 มิติโดยตรง สำหรับสภาวะแวดล้อมเสมือน
โดยใช้การแสดงผลภาพแบบโมน

3D DIRECT MANIPULATION TECHNIQUE FOR VIRTUAL
ENVIRONMENT WITH MONOSCOPIC DISPLAY

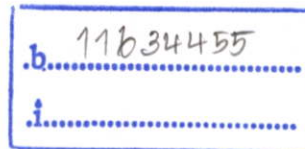


พรชัย กาญจนสุภักดิ์

PORNCHAI KANJANASUPARK

อ.พ.
พ 231 ท
2549

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 63310
วัน,เดือน,ปี..... 25 ส.ค. 2549



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2549

ISBN 974-15-2565-6

**3D DIRECT MANIPULATION TECHNIQUE FOR VIRTUAL
ENVIRONMENT WITH MONOSCOPIC DISPLAY**

PORNCHAI KANJANASUPARK

**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**

2006

ISBN 974-15-2565-6

COPYRIGHT 2006

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

| | |
|-----------------------------|--|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | เทคนิคการปรับเปลี่ยนวัตถุ 3 มิติโดยตรงสำหรับสภาวะแวดล้อมเสมือน โดยใช้การแสดงผลแบบ โมโน |
| นักศึกษา | นายพรชัย กาญจนสุภักดิ์ |
| รหัสประจำตัว | 44067003 |
| ปริญญา | วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต |
| สาขาวิชา | วิทยาการสารสนเทศ |
| พ.ศ. | 2549 |
| อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ | รศ.ดร.นพพร โชติศักดิ์ |

บทคัดย่อ

รายงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอวิธีการนำท่ามือมาประยุกต์ใช้ในการติดต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อออกคำสั่งกับวัตถุเสมือน อันได้แก่ การเลือก และการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุ โดยคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ประสิทธิภาพ ความเป็นธรรมชาติ และความเมื่อยล้าในการทำงาน ปัญหาที่พบในการปรับเปลี่ยนวัตถุในสภาวะแวดล้อมเสมือน คือ ขอบเขตพื้นที่ในการปฏิบัติงานของระยะช่วงแขนมีข้อจำกัด เทคนิค Ray-Casting เป็นเทคนิคการใช้ลำแสงในการเลือกวัตถุ ซึ่งช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ แต่อย่างไรก็ตามเทคนิคดังกล่าวต้องการการทำงานภายใต้มุมมองภาพแบบสเตอริโอ แต่เมื่ออยู่ภายใต้มุมมองแบบ โมโน หรือภาพเดี่ยว ประสิทธิภาพในการทำงานจะลดลง จากปัญหาดังกล่าว วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนอเทคนิค Light-Pointing ซึ่งพัฒนาขึ้นจากพื้นฐานการใช้งานของอุปกรณ์ชี้ด้วยแสงเลเซอร์ เทคนิคดังกล่าวนอกจากสามารถใช้ในการเลือกวัตถุเสมือน เช่นเดียวกับเทคนิค Ray-Casting แล้ว ยังสามารถใช้เคลื่อนย้ายวัตถุในแนวแกน z ได้อีกด้วย โดยในการศึกษาได้ทำการพัฒนา และทดสอบวิธีการที่อาศัยเทคนิคดังกล่าวที่แตกต่าง 4 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบสัดส่วนคงที่ รูปแบบไม่เป็นเชิงเส้น (non-linear) รูปแบบอาศัยการเปรียบเปรยแบบกระจกเงา (mirror metaphor) และรูปแบบอาศัยการเปรียบเปรยแบบไขควงหมุนทางเดียว (ratchet screwdriver metaphor) ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่าวิธีการเคลื่อนย้ายวัตถุแบบไขควงหมุนทางเดียวได้ผลดีที่สุด เมื่อวัดจากเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายตำแหน่งวัตถุไปยังจุดที่กำหนด โดยในส่วนของท่ามือที่ใช้ในการปรับเปลี่ยน โหมดของการกระทำกับวัตถุได้จากการสำรวจความเห็นของผู้ใช้ต่อท่ามือที่มีความเหมาะสมกับการออกคำสั่งกับวัตถุ โดยคำนึงถึงปัจจัย 2 ประการ ได้แก่ การสื่อความหมายที่เป็นธรรมชาติ และระดับความเมื่อยล้า

| | |
|-----------------------|--|
| Thesis Title | 3D Direct Manipulation Technique for Virtual Environment with Monoscopic Display |
| Student | Mr. Pornchai Kanjanasupark |
| Student ID. | 44067003 |
| Degree | Master of Science |
| Programme | Information Science |
| Year | 2006 |
| Thesis Advisor | Assoc. Prof. Dr. Nopporn Chotikakamthorn |

ABSTRACT

This thesis proposes the use of hand posture and gesture as a method for selection and re-location of virtual object by considering three factors; efficiency, real-world correspondence and fatigue. The problem found with re-location in VR/VE environments is that the working space of an arm's reach is limited. The Ray-Casting method applies a light ray metaphor to solve this object selection problem. However, the method implicitly requires a stereoscopic viewing system. With a monoscopic viewing system, the method was found to be inefficient. In solving the problem, this thesis proposes a Light-Pointing method based on a laser-pointer metaphor. Like Ray-Casting method, this method can be used to select virtual objects. In addition, it can also be used to move objects in the z-axis direction. From the research, four different versions of the method have been developed, namely the linear and non-linear method and methods based on mirror and ratchet screwdriver metaphors. From the experiment, it was found that the method based on a ratchet screwdriver metaphor gives the best result in terms of the time used in re-location the virtual object to the defined target. In addition, to survey for hand postures used for changing object manipulation modes were chosen from the result of user survey. The selection criteria are naturalness and fatigue.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยการให้คำปรึกษา และแนะนำแนวทาง จาก รศ.ดร.นพพร โชติกกำธร ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และคณะกรรมการสอบ วิทยานิพนธ์ทุกท่าน ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับความอนุเคราะห์จากท่าน

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณบุคคลที่ได้มีส่วนร่วมให้การช่วยเหลือผู้วิจัยในการดำเนินงานวิจัยนี้ จนสำเร็จ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และ น้องๆ ของผู้วิจัยที่ให้การสนับสนุน และช่วยเหลือ ในด้านต่าง ๆ อีกทั้งเป็นกำลังใจให้กับผู้วิจัยเสมอมา

ขอขอบคุณผู้ทำการทดลองทุกท่านที่อาสาช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการทดลอง ต่าง ๆ รวมทั้ง เพื่อน และน้องๆ นักศึกษา ณ ห้องปฏิบัติการ Multimedia and Virtual Research ที่ คอยให้กำลังใจ และให้คำปรึกษาปัญหาด้วยดีตลอดมา

อนึ่ง งานวิจัยที่นำเสนอในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้นั้น ได้ปฏิบัติภายในห้องปฏิบัติการ Multimedia and Virtual Research ของสำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

คุณค่าและประโยชน์ที่พึงได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

พรชัย กาญจนสุภักดิ์

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..... | 1 |
| 1.3 สมมติฐานของการศึกษา..... | 2 |
| 1.4 ขอบเขตของการดำเนินงานวิจัย..... | 2 |
| 1.5 ขั้นตอนการศึกษา..... | 3 |
| 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 3 |
| 1.7 โครงสร้างวิทยานิพนธ์..... | 3 |
| บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 4 |
| บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย | |
| 3.1 สภาวะแวดล้อมเสมือนจริง (Virtual Reality)..... | 8 |
| 3.1.1 ลักษณะที่ผู้ใช้เข้าไปมีส่วนร่วมภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือนจริง (Immersive) ... | 9 |
| 3.1.2 ลักษณะที่ผู้ใช้ทำงานอยู่นอกสภาวะแวดล้อมเสมือนจริง (Non-Immersive)..... | 9 |
| 3.2 ลักษณะของการปฏิสัมพันธ์..... | 10 |
| 3.2.1 การเลือก (Selection)..... | 10 |
| 3.2.2 การกระทำปรับเปลี่ยนทางเรขาคณิต (Geometric Manipulation)..... | 10 |
| 3.2.3 การปล่อย (Release)..... | 10 |
| 3.3 ลักษณะของมุมมองในการทำงาน..... | 11 |
| 3.3.1 มุมมองภาพสเตอริโอ (Stereoscopic Viewing)..... | 11 |
| 3.3.2 มุมมองภาพเดี่ยว (Monoscopic Viewing)..... | 12 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| 3.4 เทคนิคการปฏิสัมพันธ์ (Interaction Technique)..... | 12 |
| 3.4.1 เทคนิคการปฏิสัมพันธ์โดยใช้แบบจำลองมือ..... | 14 |
| 3.4.2 เทคนิคการปฏิสัมพันธ์แบบ GO-GO [3]..... | 15 |
| 3.4.3 เทคนิคการปฏิสัมพันธ์แบบ Ray-Casting [4] | 16 |
| 3.5 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย | 16 |
| 3.5.1 ถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ (CyberGlove) | 16 |
| 3.5.2 อุปกรณ์บอกตำแหน่งแบบ 6 แกน (6DOF Tracker) | 19 |
| 3.5.2.1 ค่าตำแหน่งพิกัด (Position) | 22 |
| 3.5.2.2 ค่าองศาการหมุน (Orientation) | 23 |
| 3.6 Direction Cosine..... | 24 |
| 3.7 การแปลงเชิงเรขาคณิต (Geometric transformation)..... | 26 |
| 3.7.1 การแปลงเชิงเรขาคณิต 2 มิติในลักษณะการเคลื่อนย้ายวัตถุ | 26 |
| 3.7.2 การแปลงเชิงเรขาคณิต 3 มิติในลักษณะการเคลื่อนย้ายวัตถุ | 27 |
| บทที่ 4 เทคนิคการปฏิสัมพันธ์ Light-Pointing และการจับการเคลื่อนไหว ทำทางของมือ..... | 28 |
| 4.1 เทคนิคการปฏิสัมพันธ์ Light-Pointing | 28 |
| 4.1.1 การเลือกรูปแบบการปฏิสัมพันธ์ที่เหมาะสม | 28 |
| 4.1.1.1 การสร้างลำแสงเสมือน | 31 |
| 4.1.1.2 การตรวจจับการชน | 32 |
| 4.1.1.3 วิธีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งวัตถุในแนวแกน z..... | 34 |
| 4.1.2 การเลือกท่ามือที่เหมาะสม..... | 38 |
| 4.2 การจับการเคลื่อนไหว ทำทางของมือ | 39 |
| 4.2.1 ขั้นตอนการจำแนก และรู้จำท่ามือ | 40 |
| บทที่ 5 ผลการทดลอง | 41 |
| 5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง และการจัดเก็บค่าท่ามือ | 41 |
| 5.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง | 41 |
| 5.1.2 การจัดเก็บค่าท่ามือ | 41 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| 5.2 การทดลอง..... | 41 |
| 5.2.1 การคัดเลือกท่ามือพื้นฐานที่เหมาะสม..... | 42 |
| 5.2.2 การเปรียบเทียบส่วนติดต่อกับผู้ใช้..... | 45 |
| 5.2.3 การเปรียบเทียบเทคนิคการปฏิสัมพันธ์..... | 47 |
| 5.2.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีปรับเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุ ในแนวแกน z..... | 49 |
| 5.2.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการจัดวางวัตถุในแนวแกน z ในลักษณะสุ่มตำแหน่งของกล่องสี่เหลี่ยมตามระยะ โดยใช้เทคนิค Light-Pointing ร่วมกับท่ามือ..... | 51 |
| 5.2.6 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการจัดวางวัตถุในลักษณะเชิงมุม และ แกนอิสระ (freeform) โดยใช้เทคนิค Light-Pointing ร่วมกับท่ามือ..... | 55 |
| 5.2.7 การทดลองเลือกวัตถุที่ถูกบัง โดยใช้เทคนิค Light-Pointing ร่วมกับท่ามือ..... | 58 |
| บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง และ ข้อเสนอแนะ..... | 61 |
| 6.1 สรุปผลการทดลอง..... | 61 |
| 6.2 ข้อเสนอแนะ..... | 63 |
| เอกสารอ้างอิง..... | 64 |
| ภาคผนวก..... | 66 |
| ภาคผนวก ก. บทความและผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์..... | 67 |
| ประวัติผู้เขียน..... | 77 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|---|------|
| 3.1 แสดงชื่อย่อ ณ จุดติดตั้งเซนเซอร์..... | 19 |
| 5.1 แสดงเปอร์เซ็นต์ (%) ของระดับความเหมาะสมของท่ามือที่สอดคล้องกับการออกคำสั่ง ในแต่ละท่ามือจากแบบสอบถาม | 43 |
| 5.2 แสดงเปอร์เซ็นต์ (%) ของระดับความเมื่อยล้าในแต่ละท่ามือจากแบบสอบถาม..... | 44 |
| 5.3 แสดงเวลาเฉลี่ย (วินาที) จากการเลือก และปรับเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุ..... | 46 |
| 5.4 แสดงเวลาเฉลี่ย (วินาที) จากการเลือกวัตถุ โดยใช้เทคนิคการปฏิสัมพันธ์ต่างๆ | 48 |
| 5.5 แสดงเวลาเฉลี่ย (วินาที) การปรับเปลี่ยนตำแหน่งวัตถุในแนวแกน z..... | 50 |
| 5.6 แสดงช่วงเวลาเฉลี่ยตั้งแต่เริ่มต้นหยิบจับวัตถุจนกระทั่งวัตถุอยู่ในรัศมีของกล่องสี่เหลี่ยม ขนาดใหญ่ และช่วงเวลาเฉลี่ยตั้งแต่วัตถุอยู่ในรัศมีของกล่องสี่เหลี่ยมขนาดใหญ่จนกระทั่ง เข้ากล่องสี่เหลี่ยมขนาดเล็กพอดี | 53 |
| 5.7 แสดงช่วงเวลาเฉลี่ยตั้งแต่เริ่มต้นหยิบจับวัตถุจนกระทั่งวัตถุอยู่ในรัศมีของกล่องสี่เหลี่ยม ขนาดใหญ่ และช่วงเวลาเฉลี่ยตั้งแต่วัตถุอยู่ในรัศมีของกล่องสี่เหลี่ยมขนาดใหญ่จนกระทั่ง เข้ากล่องสี่เหลี่ยมขนาดเล็กพอดี | 56 |
| 5.8 แสดงเวลาเฉลี่ย (วินาที) ในการเลือก และหยิบจับวัตถุที่ถูกบัง..... | 59 |

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.1 แผนผังแสดงรายละเอียดของการปฏิสัมพันธ์ภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือนจริง..... | 4 |
| 2.2 แสดงระยะของค่า D และช่วงการทำงานของ linear และ non-linear | 5 |
| 2.3 แสดงขณะที่ตำแหน่งของมือจริง และมือเสมือนอยู่ในตำแหน่งพิกัดเดียวกัน..... | 6 |
| 2.4 แสดงตำแหน่งของมือจริง ซึ่งแทนด้วยสี่เหลี่ยมสีขาว และมือเสมือนจริงในขณะใช้เทคนิคการปฏิสัมพันธ์แบบ Go-Go..... | 6 |
| 2.5 แสดงเทคนิคการปฏิสัมพันธ์ Ray – Casting ขณะเลือกวัตถุ | 7 |
| 3.1 แสดงผู้ใช้งานกำลังใช้อุปกรณ์หน่วยแสดงผลสวมศีรษะ (Head-Mounted Display)..... | 8 |
| 3.2 แสดงการใช้อุปกรณ์หน่วยแสดงผลสวมศีรษะ ถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ (CyberGlove) และอุปกรณ์บอกตำแหน่งแบบ 6 แกน (6DOF Tracker) | 9 |
| 3.3 แสดงการใช้อุปกรณ์บอกตำแหน่งแบบ 6 แกน (6DOF Tracker) ร่วมกับสภาวะแวดล้อมแบบเดสก์ท็อป..... | 10 |
| 3.4 แสดงโครงสร้างของลำดับการทำงานของโหมคการปฏิสัมพันธ์ภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือนจริง | 11 |
| 3.5 แสดงขณะผู้สวมแว่นตา (Shutter glasses) สามารถมองเห็นวัตถุในลักษณะ 3 มิติ..... | 12 |
| 3.6 อุปกรณ์แสดงผลแอลซีดีแบบ 3 มิติ | 12 |
| 3.7 แสดงรายละเอียดของการปฏิสัมพันธ์ระหว่างโปรแกรมกับผู้ใช้ โดยผ่านอุปกรณ์ต่างๆ | 13 |
| 3.8 แสดงส่วนของอวัยวะที่มีความสัมพันธ์กับพื้นที่ภายในสมองของมนุษย์..... | 14 |
| 3.9 แสดงเทคนิคการปฏิสัมพันธ์โดยใช้แบบจำลองมือ ขณะเลือกวัตถุ..... | 15 |
| 3.10 แสดงการปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้งานกับอุปกรณ์แบบตั้งโต๊ะเมื่อเทียบกับการใช้เทคนิคการปฏิสัมพันธ์แบบใช้แบบจำลองมือ | 15 |
| 3.11 แสดงตัวอย่างการวางตำแหน่งเซนเซอร์แบบ โค้งงอได้ที่ถูกซ่อนไว้ในถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ (CyberGlove)..... | 16 |
| 3.12 อุปกรณ์ถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ (CyberGlove) และตำแหน่งของเซนเซอร์ทั้ง 22 ตัว | 17 |
| 3.13 แสดงโครงสร้างทางกายวิภาคมือขวาของมนุษย์..... | 18 |
| 3.14 แสดงภาพรวมอุปกรณ์บอกตำแหน่งแบบ 6 แกน (6DOF Tracker) ของบริษัท Polhemus รุ่น 3 SPACE® ISOTRAK II™ | 19 |
| 3.15 แสดงขนาดของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) มาตรฐานเป็นนิ้ว..... | 20 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 3.16 แสดงภาพอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter)..... | 20 |
| 3.17 แสดงขนาดของอุปกรณ์รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Receiver) มาตรฐานเป็นนิ้ว | 21 |
| 3.18 แสดงภาพอุปกรณ์รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Receiver)..... | 21 |
| 3.19 แสดงตำแหน่ง และการติดตั้งอุปกรณ์บอกตำแหน่งแบบ 6 แกน (6DOF Tracker)..... | 22 |
| 3.20 แสดงลักษณะของแกนอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter)..... | 22 |
| 3.21 ลักษณะการหมุนของเซนเซอร์ด้วยค่าองศาการหมุน (ก) yaw, (ข) pitch และ (ค) roll..... | 23 |
| 3.22 ลักษณะแนวแกนของเซนเซอร์เทียบกับแนวแกนของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) เมื่อค่าองศาการหมุน yaw, pitch และ roll มีค่าเท่ากับ 0 องศา..... | 23 |
| 3.23 แสดง Direction Cosine ของเวกเตอร์ที่กระทำกับแกนอ้างอิง..... | 25 |
| 4.1 แสดงลักษณะของพื้นที่ระยะทำการของช่วงแขนในส่วน A และพื้นที่ระยะทำการ เมื่อใช้เทคนิคการปฏิสัมพันธ์เพื่อเพิ่มระยะทำการในส่วน B | 28 |
| 4.2 แสดงการเปรียบเทียบเทคนิคเมื่อนำมาประยุกต์ภายใต้มุมมองแบบภาพเดียว (ก) เทคนิค Light-Pointing (ข) ทิศทางในการเลือกวัตถุโดยใช้ เทคนิค Ray-Casting | 29 |
| 4.3 แสดงลักษณะการใช้งานทั่วไปด้วยอุปกรณ์ชี้ด้วยแสงเลเซอร์ | 30 |
| 4.4 แสดงอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งแบบ 6 แกนที่ถูกติดตั้งอยู่บนถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ (CyberGlove) บริเวณหลังข้อมือ..... | 30 |
| 4.5 แสดงลักษณะการทำงานของเทคนิค Light Pointing เมื่อผู้ใช้เลือกวัตถุตำแหน่ง A จากการฉายวัตถุลงบนจอภาพในลักษณะ 2 มิติ และปรับเปลี่ยนตำแหน่งวัตถุไปตำแหน่ง B | 31 |
| 4.6 อธิบายกระบวนการทำงานการเลือกบัฟเฟอร์ของ OpenGL Library..... | 33 |
| 4.7 แสดงตัวอย่างวิธีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งวัตถุในแนวแกน z แบบระยะคงที่..... | 35 |
| 4.8 แสดงตัวอย่างวิธีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งวัตถุในแนวแกน z โดยอาศัย mirror metaphor | 36 |
| 4.9 แสดงตัวอย่างวิธีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งวัตถุในแนวแกน z แบบระยะเป็นสัดส่วน | 37 |
| 4.10 แสดงตัวอย่างวิธีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งวัตถุในแนวแกน z โดยอาศัย one-way screwdriver metaphor | 38 |
| 4.11 แสดงตัวอย่างท่ามือ (ก) ท่ามือแสดงสถานะว่าง (ข) ท่ามือจับวัตถุ | 39 |
| 4.12 แผนผังขั้นตอนการจับเก็บข้อมูล จำแนก และรู้จำท่ามือ | 39 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 5.1 แสดงท่ามือ 23 ท่า ที่นำมาทำการทดลองเบื้องต้น เพื่อหาท่ามือพื้นฐานที่เหมาะสม ในการออกคำสั่ง ภายใต้อุปกรณ์แวดล้อมเสมือนจริง..... | 42 |
| 5.2 แสดงการปฏิสัมพันธ์การเลือก และปรับเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุ กับ โปรแกรมสร้าง วัตถุ 3 มิติทั่วไปโดยใช้เมาส์..... | 45 |
| 5.3 แสดงการปฏิสัมพันธ์การเลือก และปรับเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุ กับ โปรแกรมต้นแบบ โดยใช้ท่ามือ..... | 46 |
| 5.4 แสดงค่าเฉลี่ยของเวลาระหว่างการใช้เมาส์ กับท่ามือ..... | 47 |
| 5.5 แสดงเทคนิค Light-Pointing..... | 47 |
| 5.6 แสดงเทคนิค Ray-Casting..... | 48 |
| 5.7 แสดงเทคนิค Go-Go..... | 48 |
| 5.8 แสดงค่าเฉลี่ยของเวลาในการเลือกวัตถุ โดยใช้เทคนิคการปฏิสัมพันธ์แต่ละเทคนิค..... | 49 |
| 5.9 แสดงภาพขณะทำการทดลองเทคนิค Light-Pointing..... | 50 |
| 5.10 แสดงค่าเฉลี่ยของเวลาในการปรับเปลี่ยนวัตถุในแนวแกน z..... | 51 |
| 5.11 แสดงระยะสุดของตำแหน่งกล้องที่เหลื่อมในแต่ละระยะที่ทำการทดลอง..... | 51 |
| 5.12 แสดงภาพขณะผู้ทำการทดลองตั้งจุดแสงชี้วัตถุ โดยที่วางข้อศอก และมีมืออยู่ตำแหน่งข้างลำตัว ในท่าพร้อมยึดแขนออก..... | 52 |
| 5.13 แสดงค่าเฉลี่ยรวมของเวลาดั้งแต่เริ่มต้นหยิบจับวัตถุจนกระทั่งวัตถุอยู่ในรัศมีของกล้อง ที่เหลื่อมขนาดใหญ่ ในแต่ละระยะ..... | 54 |
| 5.14 แสดงค่าเฉลี่ยรวมของเวลาดั้งแต่วัตถุอยู่ในรัศมีของกล้องที่เหลื่อมขนาดใหญ่ จนกระทั่ง เข้ากล้องที่เหลื่อมขนาดเล็กพอดี ในแต่ละระยะ..... | 54 |
| 5.15 แสดงค่าเฉลี่ยรวมของเวลาทั้งหมดตั้งแต่เริ่มต้นหยิบจับวัตถุจนกระทั่งเข้ากล้องที่เหลื่อมขนาดเล็กพอดี..... | 55 |
| 5.16 แสดงตำแหน่งวัตถุ และกล้องที่เหลื่อมแต่ละช่วง เพื่อทำการทดลองในลักษณะเชิงมุมกับแกน อีอิสระ..... | 56 |
| 5.17 แสดงค่าเฉลี่ยรวมของเวลาดั้งแต่เริ่มต้นหยิบจับวัตถุจนกระทั่งวัตถุอยู่ในรัศมีของกล้อง ที่เหลื่อมขนาดใหญ่ ในแต่ละระยะ..... | 57 |
| 5.18 แสดงค่าเฉลี่ยรวมของเวลาดั้งแต่วัตถุอยู่ในรัศมีของกล้องที่เหลื่อมขนาดใหญ่ จนกระทั่ง เข้ากล้องที่เหลื่อมขนาดเล็กพอดี ในแต่ละระยะ..... | 57 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 5.19 แสดงค่าเฉลี่ยรวมของเวลาทั้งหมดตั้งแต่เริ่มต้นหีบจับวัตถุนจนกระทั่งเข้ากล่องสี่เหลี่ยมขนาด เล็กพอดี ในแต่ละระยะ | 58 |
| 5.20 แสดงภาพหน้าจอโปรแกรมขณะใช้ทำมือออกคำสั่งให้วัตถุทรงกลมสีขาวโปร่งใส | 59 |
| 5.21 แสดงค่าเฉลี่ยของเวลาในการเลือกวัตถุด้วยเทคนิค Light-Pointing และเทคนิค Light-Pointing ร่วมกับเทคนิค See-Through..... | 60 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันมีโปรแกรมทางด้านกราฟิก และเทคนิคสำหรับการสร้างแบบจำลองวัตถุ 3 มิติ ภายใต้สภาวะแวดล้อม 3 มิติอยู่มากมาย เช่น การสร้างภาพ 3 มิติทางด้านสถาปัตยกรรม หรืองานทางด้าน CAD/CAM เป็นต้น ในขณะที่อุปกรณ์การสร้างแบบจำลองวัตถุ 3 มิติ ไม่ว่าจะเป็นทางด้านฮาร์ดแวร์ หรือซอฟต์แวร์ ถูกพัฒนาขึ้นมาจากโปรแกรมทางด้านกราฟิก 2 มิติ เพื่อให้มีการปฏิสัมพันธ์ (Interactive) กับผู้ใช้ในการสร้างแบบจำลองต่างๆ ซึ่งวิธีการปฏิสัมพันธ์ดังกล่าวไม่เป็นไปในลักษณะที่เป็นธรรมชาติภายใต้สภาวะแวดล้อม 3 มิติ ทำให้ผู้พัฒนาฮาร์ดแวร์ หรือซอฟต์แวร์ ต้องพัฒนาฟังก์ชัน หรืออุปกรณ์ใหม่ๆ เพื่อให้ผู้ใช้ได้สร้าง หรือแก้ไขแบบจำลองวัตถุ 3 มิติ เพื่อให้สอดคล้องกับสภาวะแวดล้อม 3 มิติมากที่สุด โดยนำมาแทนการใช้คีย์บอร์ด, เมนูที่ซับซ้อนหลายชั้น, การที่ผู้ใช้ปฏิเสธจะไม่ใช้ฟังก์ชัน หรืออุปกรณ์ในการออกแบบ เป็นต้น เนื่องจากยากต่อการนำไปประยุกต์ใช้งาน

วิธีการปรับเปลี่ยนวัตถุ 3 มิติโดยตรง สามารถลดปัญหาความยากง่ายในการใช้งาน เนื่องจากการทำงานมีความสอดคล้องกับสภาวะแวดล้อมแบบ 3 มิติ และมีลักษณะการทำงานเป็นธรรมชาติใกล้เคียงกับการหยิบจับวัตถุในชีวิตประจำวัน แต่การทำงานในลักษณะดังกล่าวต้องขึ้นอยู่กับการแสดงผล เนื่องจากมุมมองในการทำงานของสภาวะแวดล้อมเสมือนแบบภาพสเตอริโอต้องอาศัยอุปกรณ์ในการใช้งาน คุณภาพในการแสดงผล และเทคนิคการปฏิสัมพันธ์ที่สอดคล้องกับมุมมอง ปกติการทำงานกับสภาวะแวดล้อมเสมือน (Virtual Reality) จำเป็นต้องอาศัยเทคนิคการปฏิสัมพันธ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน เช่น การเข้าถึงวัตถุ เป็นต้น ซึ่งเทคนิคการปฏิสัมพันธ์ที่มีอยู่เดิมวิธีหนึ่งได้แก่ เทคนิค Ray-Casting เมื่อนำมาประยุกต์ใช้ในลักษณะมุมมองภาพเดียวพบว่ามีปัญหา คือ ความผิดพลาดในการกระเษียรระยะตั้งลึกเพื่อเข้าถึงวัตถุ

ผู้วิจัยตระหนักในปัญหาที่เกิดขึ้น จึงได้เริ่มทำการศึกษาทำมือพื้นฐาน เพื่อนำมาใช้ในการออกคำสั่งกับวัตถุ โดยใช้ทำมือพื้นฐานที่มีลักษณะง่ายต่อการใช้งาน ง่ายต่อการจดจำ และยังพัฒนาเทคนิคการปฏิสัมพันธ์ Light-Pointing โดยจำลองการใช้งานของอุปกรณ์ชี้ด้วยลำแสงเลเซอร์ และนำพื้นฐานของเทคนิค Ray-Casting มาปรับปรุง เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงวัตถุได้รวดเร็ว และแม่นยำยิ่งขึ้น

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เพื่อศึกษา และพัฒนาเทคนิคการปฏิสัมพันธ์โดยอาศัยท่ามือ และการเคลื่อนไหวท่ามือสำหรับใช้ในการเลือก และเคลื่อนย้ายตำแหน่งของวัตถุเสมือน โดยจะทำการศึกษาในประเด็นต่อไปนี้

1.2.1 เพื่อศึกษา และพัฒนาเทคนิคของการปฏิสัมพันธ์ที่เหมาะสมภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือน ซึ่งใช้การแสดงผลภาพแบบมุมมองภาพเดียว

1.2.2 เพื่อศึกษาท่ามือพื้นฐานที่เหมาะสม ที่สามารถสื่อความหมายในการออกคำสั่งในการทำงานกับโปรแกรมต้นแบบ เช่น ท่ามือการหยิบจับวัตถุ, ท่ามือเลือกวัตถุโปร่งใส หรือท่ามือสถานะว่าง เป็นต้น โดยสอดคล้องกับการใช้งานในชีวิตประจำวันที่เป็นธรรมชาติ โดยคำนึงถึงปัจจัยในด้าน เช่น ความยากง่ายในการเรียนรู้ ประสิทธิภาพการทำงาน เป็นต้น

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

1.3.1 ท่ามือที่มีการปฏิสัมพันธ์ใกล้เคียงกับการใช้งานในชีวิตประจำวัน ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้เรียนรู้ได้เร็ว และง่ายต่อการใช้งาน ท่ามือที่มีความแตกต่างจากท่ามือธรรมชาติมากเท่าไรจะทำให้มีผลต่อความเมื่อยล้าในการใช้งาน

1.3.2 รูปแบบของการแสดงผลในลักษณะมุมมองภาพสเตอริโอ หรือมุมมองภาพเดียว มีผลต่อการปฏิสัมพันธ์ภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือน เช่น เมื่อนำเทคนิค Ray-Casting มาใช้งานภายใต้ลักษณะมุมมองภาพสเตอริโอ ผู้ใช้สามารถมองเห็นระยะลึก และทำการเลือกวัตถุเสมือนได้ถูกต้อง แต่เมื่อนำเทคนิคดังกล่าวมาใช้งานในลักษณะมุมมองภาพเดียว ผู้ใช้มีโอกาสเลือกวัตถุเสมือนในระยะลึกผิดพลาดได้

1.4 ขอบเขตของการดำเนินงานวิจัย

1.4.1 ศึกษาการปฏิสัมพันธ์ภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือน และขอบเขตของลักษณะเทคนิคการปฏิสัมพันธ์พื้นฐาน ในการเลือก และการเคลื่อนย้ายวัตถุ

1.4.2 ศึกษาความยากง่าย และประสิทธิภาพในการใช้งานในแต่ละเทคนิคการปฏิสัมพันธ์

1.4.3 ทำการเปรียบเทียบโหมดของการปฏิสัมพันธ์การเลือก และการกระทำปรับเปลี่ยนกับระบบเดิม โดยใช้อุปกรณ์ที่ทำงานบนระนาบ 2 มิติ กับการใช้ท่ามือร่วมกับเทคนิคการปฏิสัมพันธ์

1.4.4 ศึกษาประสิทธิภาพในลักษณะมุมมองภาพเดียว แบบ non-immersive

1.4.5 พัฒนาโปรแกรมต้นแบบที่ใช้การปฏิสัมพันธ์ภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือนในลักษณะมุมมองภาพเดียว

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

- 1.5.1 กำหนดหัวข้อ เป้าหมาย จุดประสงค์ และขอบเขตของการทำวิทยานิพนธ์
- 1.5.2 ศึกษาทฤษฎี และหลักการพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย
- 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

- 1.6.1 เพื่อพัฒนาส่วนการปฏิสัมพันธ์ภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือน โดยใช้ท่ามือในการออกคำสั่ง
- 1.6.2 เพื่อพัฒนาเทคนิคการปฏิสัมพันธ์ Light-Pointing ที่ทำงานในลักษณะของมุมมองภาพเดียว โดยผู้ใช้สามารถเลือกวัตถุได้ดีขึ้น

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 เทคนิคการปฏิสัมพันธ์ Light-Pointing และการจัดการเคลื่อนไหว ท่าทางของมือ

บทที่ 5 ผลการทดลอง

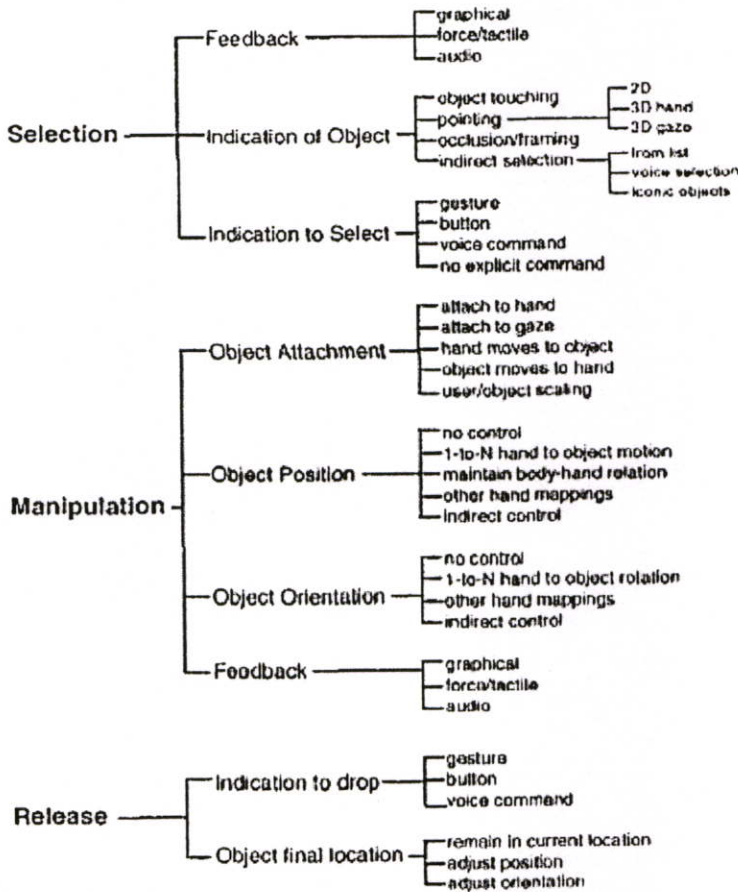
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปฏิสัมพันธ์ภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือน รวมถึงเทคนิคการปฏิสัมพันธ์ต่างๆ ที่ผ่านมามีดังนี้

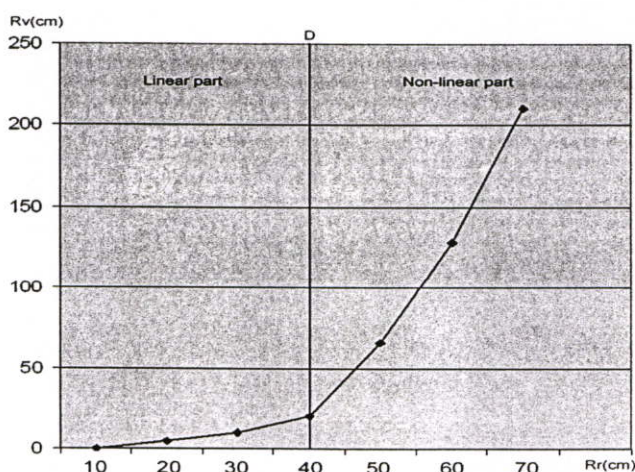
Doug A. Bowman, Donald B. Johnson และ Larry F. Hodges [1] ได้ทำการศึกษากระบวนการของการปฏิสัมพันธ์ภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือน โดยกำหนดแผนผังของการปฏิสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 2.1 และทำการวัดค่าประสิทธิภาพของเทคนิคการปฏิสัมพันธ์สำหรับสภาวะแวดล้อมเสมือน โดยได้ทำการทดลอง การประยุกต์ใช้พื้นฐานของเทคนิคการปฏิสัมพันธ์ทั่วไป กับ โหมดของการปฏิสัมพันธ์ ทำให้ได้รูปแบบมาตรฐานในการปฏิสัมพันธ์ภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือน เพื่อนำไปสู่การเลือกเทคนิคการปฏิสัมพันธ์ที่เหมาะสมมาประยุกต์กับ โปรแกรมประยุกต์เสมือนได้



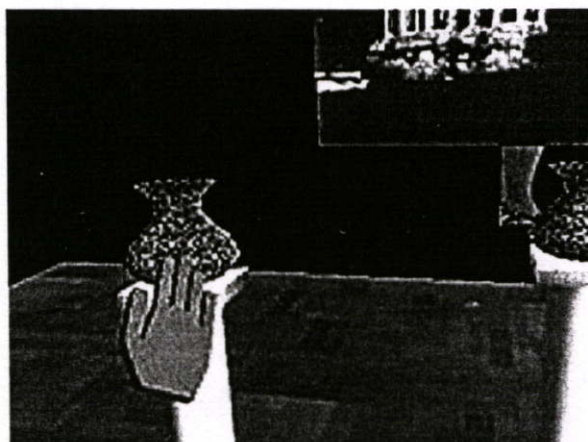
รูปที่ 2.1 แผนผังแสดงรายละเอียดของการปฏิสัมพันธ์ภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือน

Ken Hinckley, Randy Pausch, John C. Goble และ Neal F. Kassell [2] ได้ทำการสำรวจ และรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการออกแบบภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือน จากงานวิจัยในส่วนเออร์โกโนมิกส์ และการปฏิสัมพันธ์อย่างง่ายได้กล่าวถึง การใช้อุปกรณ์ที่ทำงานบนระนาบ 2 มิติ เช่น เมาส์, คีย์บอร์ด เป็นต้น ที่ทำงานภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือนอย่างต่อเนื่อง ในลักษณะงานซ้ำๆ กัน ก่อให้เกิดความไม่สะดวก และความเมื่อยล้า เพราะปัญหาที่เกิดขึ้นเกิดจากการปฏิบัติงานไม่สอดคล้องกับการทำงานภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือน ถ้าการออกแบบส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้ดี ผู้ใช้สามารถทำงานได้ต่อเนื่องมากขึ้น หรือระบบอาจมีส่วนของการกำหนดระยะเวลาในการใช้งาน เพื่อให้ผู้ใช้ได้พัก จากการสังเกตเมื่อผู้ใช้ใช้มือในการทำงานภายใต้สภาวะแวดล้อมการทำงาน ลักษณะของมือจะไม่อยู่ในท่าคว่ำมือเหมือนกำลังพิมพ์ แต่จะอยู่ในลักษณะตะแคงฝ่ามือ และมีการพักมือโดยพักที่พนักเก้าอี้ หรือบนโต๊ะเพราะเนื่องจากการใช้งานในลักษณะสภาวะแวดล้อมเสมือนจะแตกต่างจากการพิมพ์งานคอมพิวเตอร์โดยทั่วไป

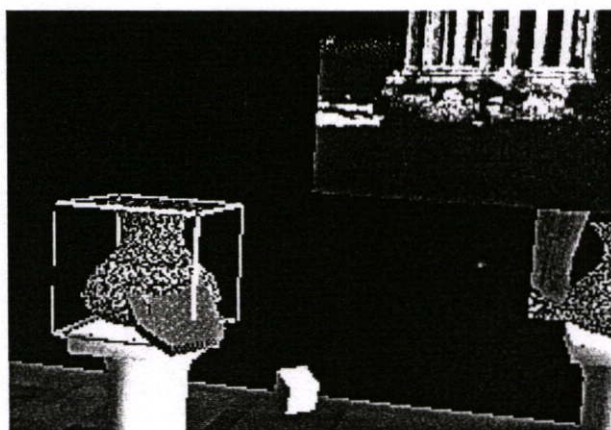
Ivan Poupyrev, Mark Billinghurst, Suzanne Weghorst และ Tadao Ichikawa [3] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับเทคนิคการปฏิสัมพันธ์ในการเลือก และหยิบจับวัตถุ โดยใช้หลักการทำให้ระยะของท่อนแขนผู้ใช้นั้นยาวกว่าความเป็นจริง มือเสมือนของผู้ใช้สามารถเข้าใกล้วัตถุได้ โดยรันระยะทางระหว่างวัตถุกับผู้ใช้นั้นวัตถุเข้าหาผู้ใช้ โดยใช้ตำแหน่งเดิมของท่อนแขน และนำวิธี Non-linear mapping มาประยุกต์ใช้ โดยพื้นที่รอบๆ ผู้ใช้ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังรูปที่ 2.2 ส่วนพื้นที่แรก เป็นส่วนของพื้นที่ที่มีอัตราส่วนในการเคลื่อนที่เป็น 1:1 กับมือจริง คือระยะที่ใกล้กับผู้ใช้มากที่สุด ส่วนพื้นที่ถัดไป คือ พื้นที่ที่มีระยะมากกว่าค่า D ที่ถูกกำหนดไว้ โดยพื้นที่ในส่วนมากกว่าค่า D ผู้ใช้สามารถเพิ่มระยะความยาวของท่อนแขน ทำให้สามารถปฏิสัมพันธ์ในลักษณะการควบคุมวัตถุระยะไกลได้ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.2 แสดงระยะของค่า D และช่วงการทำงานของ linear และ non-linear



รูปที่ 2.3 แสดงขณะที่ตำแหน่งของมือจริง และมือเสมือนอยู่ในตำแหน่งพิกัดเดียวกัน



รูปที่ 2.4 แสดงตำแหน่งของมือจริง ซึ่งแทนด้วยสี่เหลี่ยมสีขาว และมือเสมือนในขณะใช้เทคนิคการปฏิสัมพันธ์แบบ GO-GO

จากรูปที่ 2.4 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 ตำแหน่งของมือเสมือน

R_r คือ ตำแหน่งของมือจริง

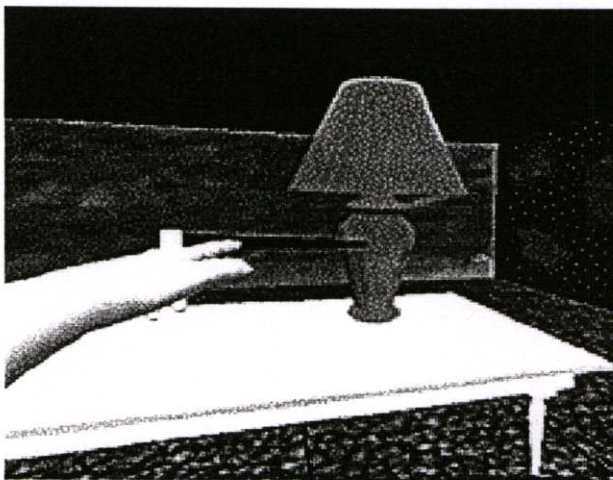
k คือ ค่าคงที่ ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

D คือ ค่า threshold ใช้สำหรับแบ่งระยะทำการ ระหว่าง linear กับ non-linear

จากสมการที่ 2.1 เมื่อ R มีค่ามากกว่า ค่า threshold จึงจะเข้าสู่เทคนิคการปฏิสัมพันธ์แบบ GO-GO โดยที่ ค่า k มีไว้สำหรับระยะยืดความยาวของท่อนแขนให้มีความละเอียดแม่นยำมากขึ้น

Doug A. Bowman และ Larry F. Hodges [4] ได้อธิบายถึงการเปรียบเทียบคุณสมบัติและประยุกต์เทคนิคการปฏิสัมพันธ์ในลักษณะการควบคุมวัตถุระยะไกล โดยมีเทคนิคการปฏิสัมพันธ์ดังต่อไปนี้ คือ เทคนิค GO-GO, เทคนิค Ray-Casting แสดงในรูปที่ 2.5 รวมถึงการพัฒนาเทคนิคการปฏิสัมพันธ์แบบร่วม โดยพิจารณาเฉพาะโหมดของการปฏิสัมพันธ์การเลือกและการกระทำปรับเปลี่ยน ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพ และง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้งาน โดยทำการทดลองภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือน ในลักษณะที่ผู้ใช้เข้าไปมีส่วนร่วมภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือน และนำเทคนิคการปฏิสัมพันธ์ดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ ผลที่ได้มี 3 ข้อดังต่อไปนี้

- เทคนิค GO-GO ใช้การ Non-linear mapping ทำให้การกะเนระยะถือกระทำได้ลำบาก
- เทคนิค GO-GO ประสิทธิภาพการทำงานขึ้นอยู่กับช่วงแขนของผู้ทดลอง เช่น ผู้ทดลองช่วงแขนสั้น หรือพื้นที่การทำงานในโลกเสมือนมีขนาดกว้าง ทำให้การทำงานผิดพลาดมากขึ้น
- เทคนิค Ray-Casting มีข้อจำกัดในการหมุนวัตถุ



รูปที่ 2.5 แสดงเทคนิคการปฏิสัมพันธ์ Ray – Casting ขณะถือแก้วตุ๊ก

บทที่ 3

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย

ในบทที่ 3 นี้จะกล่าวถึงลักษณะทั่วไปของสภาวะแวดล้อมเสมือน (Virtual Reality), ลักษณะของการปฏิสัมพันธ์, ลักษณะของมุมมองในการทำงาน, เทคนิคการปฏิสัมพันธ์ (Interaction Technique), อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย, Direction Cosine และการแปลงเชิงเรขาคณิต (Geometric Transformation)

3.1 สภาวะแวดล้อมเสมือน (Virtual Reality)

สภาวะแวดล้อมเสมือนเกิดจากความต้องการของมนุษย์ที่ต้องการสร้าง จำลองหรือเลียนแบบ รวมถึงปฏิสัมพันธ์กับสิ่งต่างๆ รอบตัวที่อยู่ในสภาวะแวดล้อมจริงลงในเครื่องคอมพิวเตอร์ เรียกว่า ไซเบอร์สเปซ (Cyberspace) โดยที่สิ่งต่างๆ ในไซเบอร์สเปซไม่ขึ้นกับสภาวะแวดล้อมจริง เช่น ภายได้เงื่อนไขของเวลา ในสภาวะแวดล้อมจริง เวลาไม่สามารถหยุดได้ แต่เวลาในไซเบอร์สเปซ ช้า เร็ว หรือหยุดนิ่ง สามารถทำได้โดยการโปรแกรม เป็นต้น สิ่งที่สำคัญในการทำงานของสภาวะแวดล้อมเสมือน คือ การทำงานของคอมพิวเตอร์กราฟิกในลักษณะทำงานแบบทันที (Real-time) หน่วยแสดงผลแบบสี และซอฟต์แวร์เกี่ยวกับการจำลอง

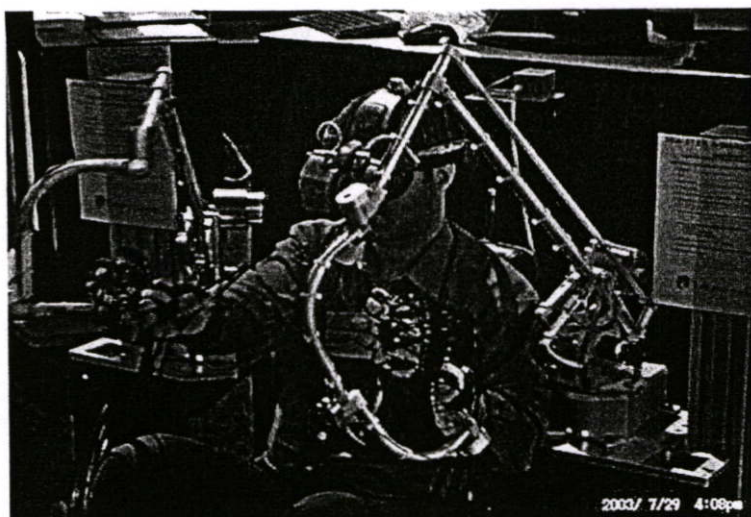


รูปที่ 3.1 แสดงผู้ใช้งานกำลังใช้อุปกรณ์หน่วยแสดงผลสวมศีรษะ (Head-Mounted Display) [5]

คอมพิวเตอร์กราฟิกเป็นหลักฐานสำคัญในการสร้างรูปจำลองต่างๆ โดยมีหน่วยแสดงผลสวมศีรษะ (Head-Mounted Display) หรือ HMD เป็นอุปกรณ์แทนตาของผู้ใช้สำหรับมองสิ่งต่างๆ ภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือนในลักษณะมุมมองภาพสเตอริโอ ดังรูปที่ 3.1 โปรแกรมที่ซับซ้อนสำหรับสร้างสิ่งต่างๆ ภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือน รวมถึงจำลองเหตุการณ์ต่างๆ เช่น การสร้างรูปภาพเสมือน การจำลองมิติของเสียง เป็นต้น ลักษณะการทำงานของสภาวะแวดล้อมเสมือนสามารถแบ่งออกได้ 2 ลักษณะ ดังนี้

3.1.1 ลักษณะที่ผู้ใช้เข้าไปมีส่วนร่วมภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือน (Immersive)

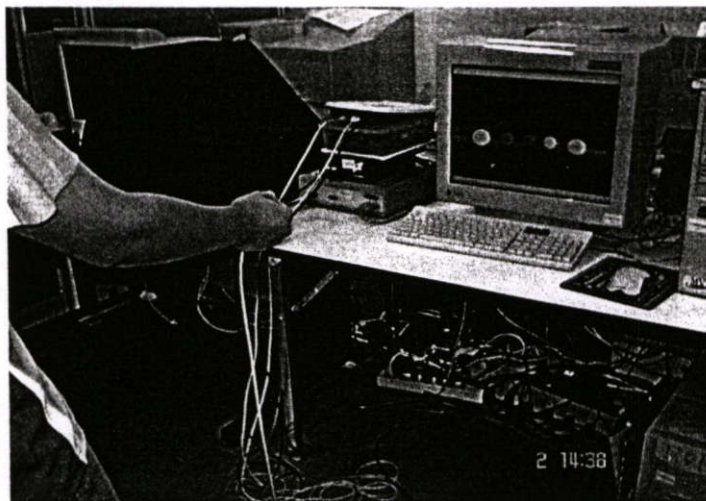
เป็นการปฏิสัมพันธ์ในลักษณะที่ผู้ใช้งานเสมือนเข้าไปอยู่ในไซเบอร์สเปซ โดยพิจารณาว่าผู้ใช้เข้าไปมีส่วนร่วมมากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับกระบวนการของผู้ใช้ และอุปกรณ์ที่นำมาประยุกต์ใช้ เช่น หน่วยแสดงผลสวมศีรษะ, ถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ (CyberGlove), อุปกรณ์บอกตำแหน่งแบบ 6 แกน (6DOF Tracker) เป็นต้น ดังรูปที่ 3.2 ลักษณะประเภทของงาน เช่น การจำลองการขับเครื่องบิน การจำลองการขับรถ เป็นต้น



รูปที่ 3.2 แสดงการใช้อุปกรณ์หน่วยแสดงผลสวมศีรษะ ถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ (CyberGlove) และอุปกรณ์บอกตำแหน่งแบบ 6 แกน (6DOF Tracker)

3.1.2 ลักษณะที่ผู้ใช้ทำงานอยู่นอกสภาวะแวดล้อมเสมือน (Non-Immersive)

เป็นการปฏิสัมพันธ์ในลักษณะที่ผู้ใช้ทำงานในสภาวะแวดล้อมแบบเดสก์ท็อปพร้อมกับอุปกรณ์ที่ทำงานในลักษณะ 3 มิติ ดังรูปที่ 3.3 ซึ่งการปฏิสัมพันธ์กับสภาวะแวดล้อมเสมือน มีพื้นฐานมาจากการปฏิสัมพันธ์ภายใต้สภาวะแวดล้อม 2 มิติ ซึ่งแตกต่างกันที่อุปกรณ์ที่นำมาประยุกต์ใช้



รูปที่ 3.3 แสดงการใช้อุปกรณ์บอกตำแหน่งแบบ 6 แกน (6DOF Tracker) ร่วมกับสถานะแวดล้อมแบบเดสก์ท็อป

3.2 ลักษณะของการปฏิสัมพันธ์

จากการศึกษาการปฏิสัมพันธ์ ภายใต้สถานะแวดล้อมเสมือน[1] ประกอบด้วย 3 โหมด คือ

3.2.1 การเลือก (Selection)

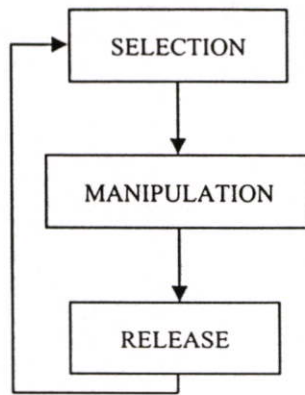
เป็นโหมดแรกของการปฏิสัมพันธ์ ซึ่งโหมดของการปฏิสัมพันธ์การเลือกอาจรวมถึงเวลาในการค้นหา และสิ้นสุดการค้นหาวัตถุเพื่อเลือก โดยเกิดขึ้นเมื่อผู้ใช้งานต้องการวัตถุที่อยู่ภายใต้สถานะแวดล้อมเสมือนมาประยุกต์ใช้

3.2.2 การกระทำปรับเปลี่ยนทางเรขาคณิต (Geometric Manipulation)

เป็นโหมดของการปฏิสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นหลังจากโหมดของการปฏิสัมพันธ์การเลือก เช่น การปรับเปลี่ยนตำแหน่ง, การหมุน หรือการลดเพิ่มขนาดของวัตถุ เป็นต้น

3.2.3 การปล่อย (Release)

เป็นโหมดของการปฏิสัมพันธ์สุดท้าย เพื่อวาง หรือปล่อยวัตถุจากการปฏิสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นก่อนหน้านี้ จากนั้นลำดับของโหมดของการปฏิสัมพันธ์จะวนกลับไป ณ โหมดของการปฏิสัมพันธ์การเลือกอีกครั้ง เพื่อรอรับคำสั่งต่อไป



รูปที่ 3.4 แสดงโครงสร้างของลำดับการทำงานของโหมดการปฏิสัมพันธ์ภายใต้สถานะแวดล้อมเสมือน

ในรูปที่ 3.4 แสดงโครงสร้างของลำดับการทำงานของโหมดการปฏิสัมพันธ์ โดยการปฏิสัมพันธ์ที่เกิดขึ้น ขึ้นอยู่กับเงื่อนไข และลักษณะการนำไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์

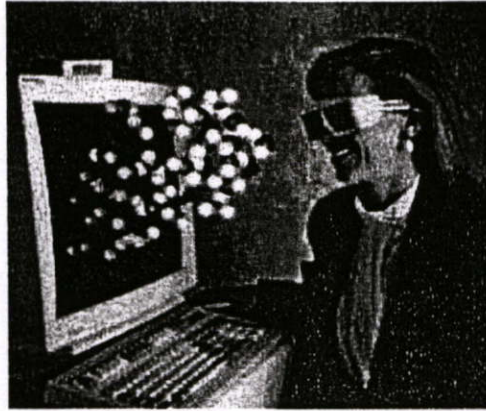
3.3 ลักษณะของมุมมองในการทำงาน

การทำงานกับสถานะแวดล้อมเสมือน ปัจจัยหนึ่งที่สำคัญคือ มุมมองของภาพ ซึ่งมีผลกับคุณสมบัติของวัตถุ เช่น ความลึก ความหนาของวัตถุ เป็นต้น ทำให้ลักษณะของมุมมองในการทำงานสามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

3.3.1 มุมมองภาพสเตอริโอ (Stereoscopic Viewing)

โดยปกติการมองเห็นภาพของมนุษย์จะอยู่ในลักษณะ 3 มิติ คือ ภาพที่เห็นจะมีคุณสมบัติของระยะตื้นลึก ทำให้มนุษย์สามารถระบุระยะของวัตถุที่มองเห็นจากภาพได้ การมองเห็นภาพ 3 มิติของมนุษย์ เกิดจากการที่สมองของมนุษย์นำภาพที่มองเห็นจากตาข้างซ้าย และตาข้างขวา มาสร้างเป็นภาพขึ้นใหม่ทำให้มนุษย์สามารถมองเห็นภาพเป็น 3 มิติได้

การแสดงผลภาพบนจอคอมพิวเตอร์ที่มนุษย์มองเห็น โดยทั่วไปจะเป็นภาพแบบ 2 มิติ คือ มีความกว้าง และความยาวของภาพเท่านั้น วิธีที่จะทำให้มนุษย์สามารถเห็นภาพจากจอคอมพิวเตอร์เป็นภาพ 3 มิติ แบบที่เห็นภาพตามปกติของมนุษย์ได้ จึงต้องอาศัยการแสดงผลภาพเลียนแบบการมองเห็นภาพ 3 มิติของมนุษย์ โดยสร้างภาพบนจอภาพซึ่งภาพที่สร้างขึ้นจะมีความสัมพันธ์กับภาพที่ตาข้างซ้าย และตาข้างขวามองเห็น โดยใช้เครื่องมือ เช่น แว่นตา (Shutter glasses) เป็นเครื่องมือช่วยทำให้การมองเห็นภาพบนจอภาพมีความสัมพันธ์กับภาพที่จะมองเห็นผ่านตาซ้าย และตาข้างขวา, จอแสดงผลแบบ 3 มิติ ดังแสดงในรูปที่ 3.5 และรูปที่ 3.6 หรืออุปกรณ์แสดงผลสวมศีรษะ (Head-Mounted Display) ที่สามารถแสดงผลแบบ 3 มิติได้



รูปที่ 3.5 แสดงขณะผู้ใช้สวมแว่นตา (Shutter glasses) สามารถมองเห็นวัตถุในลักษณะ 3 มิติ



รูปที่ 3.6 อุปกรณ์แสดงผลแอลซีดีแบบ 3 มิติ

3.3.2 มุมมองภาพเดี่ยว (Monoscopic Viewing)

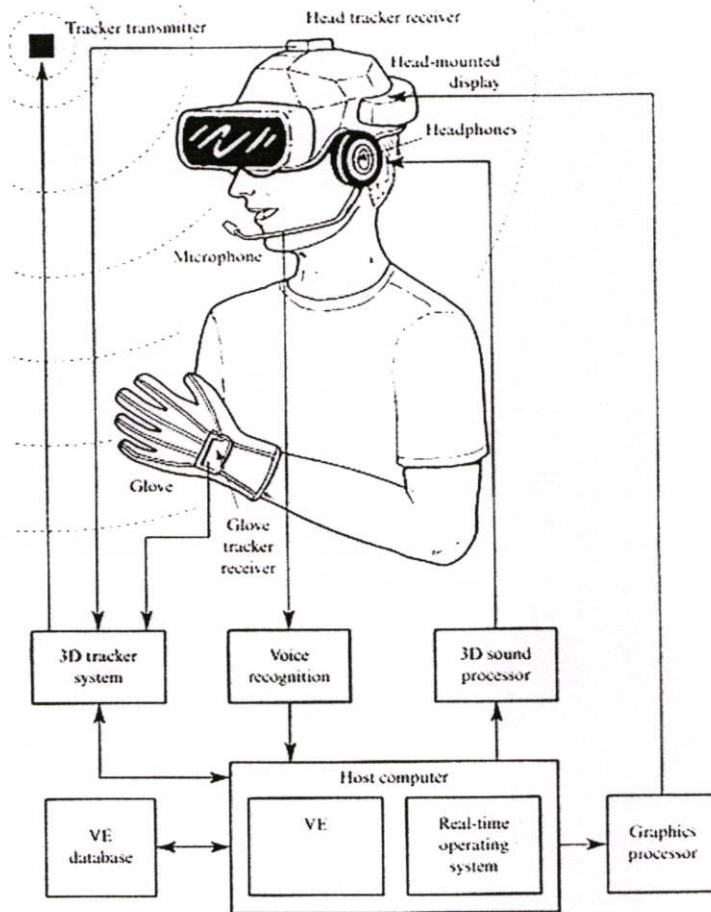
เป็นการแสดงผลจากคอมพิวเตอร์ในลักษณะ 2 มิติ นิยมใช้กันโดยทั่วไปในลักษณะการทำงานแบบเดสก์ทอป เช่น การจำลองวัตถุลงบนจอภาพแบบซีอาร์ที จากมุมมองของผู้ใช้ คุณสมบัติการแยกแยะความแตกต่างของตำแหน่งวัตถุอยู่ลึก หรือตื้นลดลง เป็นต้น

3.4 เทคนิคการปฏิสัมพันธ์ (Interaction Technique)

โปรแกรมที่ทำงานทางด้านสภาวะแวดล้อมเสมือนส่วนใหญ่มีความหลากหลาย และซับซ้อน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของขั้นตอนการทำงาน และปัจจัยต่างๆ ที่ระบบมีต่อผู้ใช้ เช่น อุปกรณ์ที่ติดต่อกันระหว่างโปรแกรมกับผู้ใช้ หรือการประยุกต์เทคนิคการปฏิสัมพันธ์ที่เหมาะสมกับการปฏิบัติงาน เป็นต้น ถึงแม้ว่าในปัจจุบันการหิบบังวัตถุเสมือน ในลักษณะที่ผู้ใช้อยู่นอก

สภาวะแวดล้อมเสมือน หรือทำงานแบบเดสก์ท็อป บ่อยครั้งที่ยากต่อการใช้งาน เช่น ขาดคุณสมบัติการตอบสนองของแรงของการหยิบจับสัมผัส มีสิ่งรบกวนสัญญาณตัวบอกตำแหน่งแบบ 6 แกนทำให้ไม่สามารถใช้งานในระบบที่ต้องการความแม่นยำ และความละเอียดสูงได้ การออกแบบ หรือการประยุกต์เทคนิคการปฏิสัมพันธ์ไม่เหมาะสมกับลักษณะของงาน เป็นต้น แต่ก็ยังมีการศึกษาเกี่ยวกับการทำงานของมนุษย์ที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวัน เช่น การศึกษาการใช้เครื่องมือต่างๆ หรือประเมินสัดส่วนของพื้นที่การทำงานมีผลต่อการทำงานอย่างไร เป็นต้น

การปฏิสัมพันธ์ภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือน มีส่วนการติดต่อระหว่างผู้ใช้กับโปรแกรมอยู่หลากหลาย เช่น การสั่งการด้วยเสียง การใช้ส่วนของร่างกายในการควบคุม โดยการใช้ศีรษะควบคุม หรือการใช้มือในการควบคุมซึ่งเป็นการปฏิสัมพันธ์แบบโดยตรง เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงรายละเอียดของการปฏิสัมพันธ์ระหว่าง โปรแกรมกับผู้ใช้ โดยผ่านอุปกรณ์ต่างๆ

โดยธรรมชาติของมนุษย์ การสัมผัส การหยิบจับสิ่งของที่อยู่รอบตัว เป็นการศึกษาเรียนรู้ และพัฒนาตั้งแต่เกิด เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่ในสมองของมนุษย์เป็นส่วนที่บังคับมือในการหยิบจับสิ่งของ จากรูปที่ 3.8 เป็นภาพวาดแสดงส่วนต่างๆ ของร่างกายซึ่งขนาดของอวัยวะ คือสัดส่วน

พื้นที่ที่สมองควบคุมการทำงาน พบว่ามือมีขนาดใหญ่ที่สุด ทำให้ส่วนของมือมีการทำงานในลักษณะที่มีส่วนสำคัญในการพัฒนาการ การเรียนรู้ที่เป็นไปในลักษณะธรรมชาติโดยอัตโนมัติ

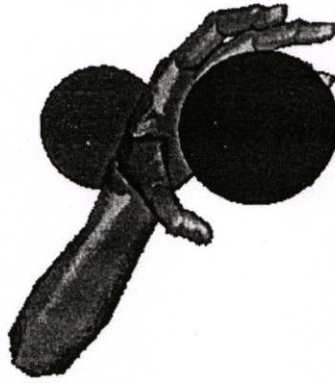


รูปที่ 3.8 แสดงส่วนของอวัยวะที่มีความสัมพันธ์กับพื้นที่ภายในสมองของมนุษย์ [6]

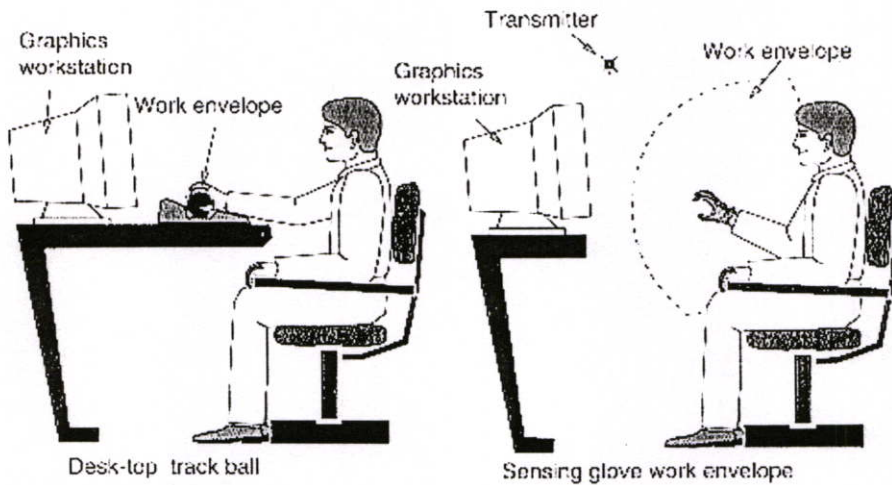
จากการศึกษาเทคนิคการปฏิสัมพันธ์ ในลักษณะการปฏิสัมพันธ์โดยใช้การเคลื่อนไหวของมือติดต่อกับโปรแกรม พบว่ามีเทคนิคการปฏิสัมพันธ์พื้นฐาน ดังนี้

3.4.1 เทคนิคการปฏิสัมพันธ์โดยใช้แบบจำลองมือ

เป็นการปฏิสัมพันธ์ในลักษณะการเลือก และการกระทำปรับเปลี่ยนโดยตรง โดยอาศัยการส่งข้อมูลจากถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ และอุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งแบบ 6 แกน (6DOF Tracker) สัมพันธ์กับแบบจำลองมือ ทำให้ผู้ใช้มีปฏิสัมพันธ์กับวัตถุ เช่น หยิบจับ เคลื่อนที่วัตถุได้โดยง่าย เป็นต้น ทำงานโดยใช้การเคลื่อนไหวของนิ้วมือ และท่อนแขนของผู้ใช้ ทำให้การทำงานเป็นไปในลักษณะธรรมชาติ ข้อเสียของเทคนิค คือ ระยะของพื้นที่ในการทำงานมีขอบเขตที่จำกัด เช่น การหยิบจับวัตถุ สามารถหยิบจับในระยะความยาวของช่วงแขนผู้ใช้นั้น และไม่เหมาะสมกับการเลือกวัตถุที่มีขนาดเล็กกว่าแบบจำลองมือ ตัวอย่างเทคนิคการปฏิสัมพันธ์โดยใช้แบบจำลองมือ แสดงในรูปที่ 3.9 และลักษณะสภาพแวดล้อมการทำงานโดยใช้เทคนิคการปฏิสัมพันธ์แบบใช้แบบจำลองมือเมื่อเทียบกับการทำงานของอุปกรณ์แบบตั้งโต๊ะ ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.9 แสดงเทคนิคการปฏิสัมพันธ์โดยใช้แบบจำลองมือ ขณะเลือกวัตถุ



รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะของการปฏิสัมพันธ์แบบ 2 มิติ และการปฏิสัมพันธ์แบบ 3 มิติ [7]

3.4.2 เทคนิคการปฏิสัมพันธ์แบบ GO-GO [3]

เป็นการปฏิสัมพันธ์ในลักษณะการเลือก และการกระทำปรับเปลี่ยนโดยตรง ใช้หลักการทำให้ระยะของท่อนแขนผู้ใช้นานกว่าความเป็นจริง มือเสมือนของผู้ใช้สามารถเข้าใกล้วัตถุได้ โดยร่นระยะทางระหว่างวัตถุกับผู้ใช้นิดวัตถุเข้าหาผู้ใช้ ข้อเสียของเทคนิค คือ ใช้แบบไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear mapping) ทำให้การกะเนระยะลึกระทำได้ลำบาก และประสิทธิภาพการทำงานขึ้นอยู่กับช่วงแขนของผู้ทดลอง เช่น ผู้ทดลองช่วงแขนสั้น หรือพื้นที่การทำงานในโลกเสมือนมีขนาดกว้าง ทำให้การทำงานผิดพลาดมากขึ้น

3.4.3 เทคนิคการปฏิสัมพันธ์แบบ Ray-Casting [4]

เป็นการปฏิสัมพันธ์ในลักษณะการเลือก และการกระทำปรับเปลี่ยน โดยตรงชนิดเคลื่อนย้ายวัตถุ สามารถเลือกวัตถุที่มีระยะทำการเกินกว่าช่วงแขนของผู้ใช้ได้ เนื่องจากความยาวลำแสงเสมือนมีระยะอนันต์ และทำงานคล้ายกับการทำงานบนคอมพิวเตอร์เดสก์ท็อปทั่วไปในลักษณะ 2 มิติในสภาวะแวดล้อมเสมือน เมื่อลำแสงเสมือนตัดผ่านวัตถุ ผู้ใช้สามารถปฏิสัมพันธ์กับวัตถุได้ ข้อเสียของเทคนิคมีดังนี้

3.4.3.1 มีข้อจำกัดในการหมุนวัตถุเมื่อทำงานภายใต้การแสดงผลแบบมุมมองภาพเดียว ทำให้ผู้ใช้จะเนาระยะลึกของวัตถุผิดพลาดได้

3.4.3.2 การตรวจจับการชน (Collision Detection) ทำงานอยู่ในลักษณะ 3 มิติ

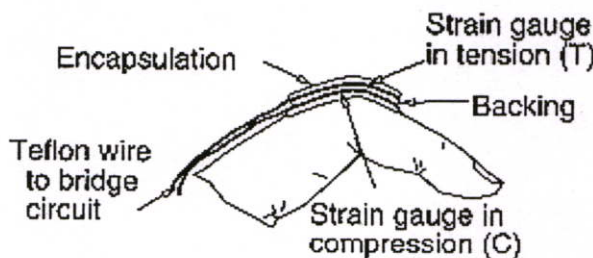
3.4.3.3 การหยิบจับวัตถุเพื่อเคลื่อนย้ายในแนวแกน z ไม่สามารถทำได้ เช่น การดึงวัตถุเข้าหาผู้ใช้ในลักษณะตามมือผู้ใช้

3.5 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้อุปกรณ์เพื่อติดต่อระหว่างผู้ใช้กับโปรแกรมมีดังนี้ คือ

3.5.1 ถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ (CyberGlove)

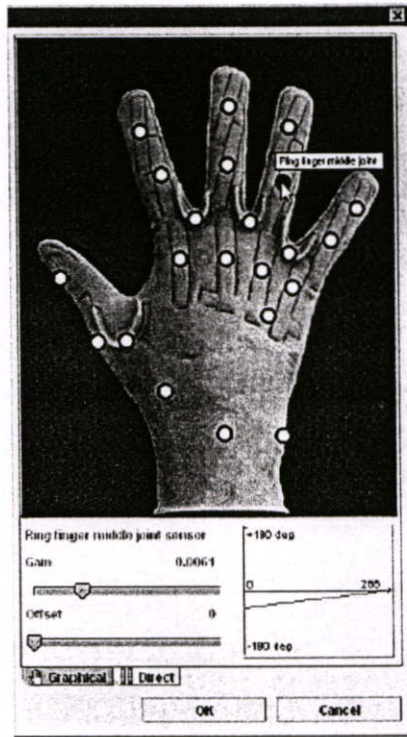
เป็นอุปกรณ์สำหรับสวมใส่มือ ควบคุมโดยการเคลื่อนไหวของนิ้วมือ ของบริษัทอิมเมอร์ชัน โควออปอเรต (Immersion Corporate) สำหรับใช้ติดต่อกับงานทางด้านสภาวะแวดล้อมเสมือน และถูกออกแบบมาให้สามารถทำงานได้เหมือนถุงมือทั่วไป เช่น พิมพ์ หรือจับปากกาเขียนได้ เป็นต้น ลักษณะของเซนเซอร์ที่ใช้เป็นตัวต้านทานชนิดโค้งงอได้ และมีรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้า ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แสดงตัวอย่างการวางตำแหน่งเซนเซอร์แบบโค้งงอได้ที่ถูกซ่อนไว้ในถุงมือ

อิเล็กทรอนิกส์ (CyberGlove) [7]

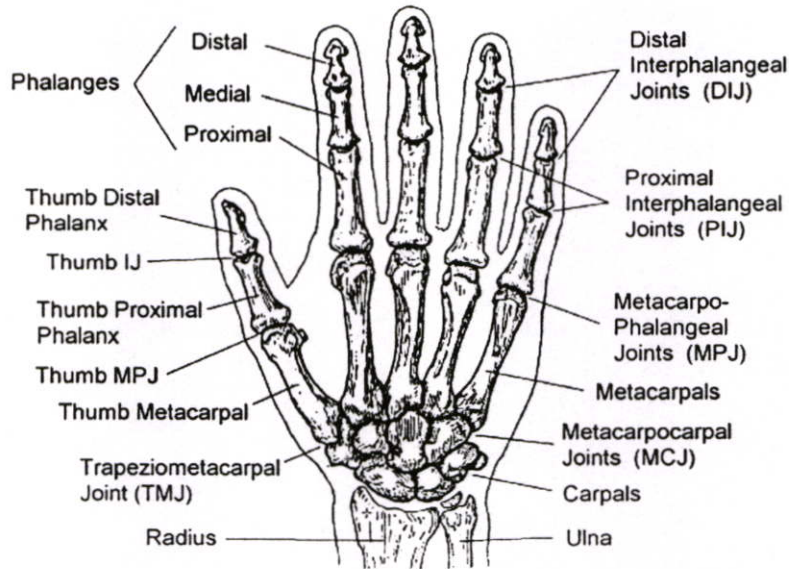
ตำแหน่งของเซนเซอร์จะอยู่ตามข้อต่อต่างๆ เช่น ฝ่ามือ ข้อมือ นิ้วมือ ง่ามนิ้วมือ เพื่อวัดค่าการโค้งงอ กาง หรือหุบของส่วนต่างๆ ของมือ ประกอบด้วยเซนเซอร์ทั้งหมด 18-22 เซนเซอร์ โดยถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ข้างซ้ายจะมีเซ็นเซอร์ 18 เซนเซอร์ และข้างขวาจะมี 22 เซนเซอร์ โดยวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้ถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ (CyberGlove) ข้างขวา ดังรูปที่ 3.12 ข้อมูลที่ส่งออกมาจากเซนเซอร์หนึ่งตัวจะมีค่าระหว่าง 0-255 ค่าจะเปลี่ยนแปลงในลักษณะแบบทันที โดยขึ้นอยู่กับลักษณะส่วนต่างๆ ของมือผู้สวมใส่



รูปที่ 3.12 อุปกรณ์ถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ (CyberGlove) และตำแหน่งของเซนเซอร์ทั้ง 22 ตัว [8]

ตำแหน่งเซนเซอร์ที่อยู่บนถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ (CyberGlove) ถูกออกแบบให้วางอยู่ตามสรีระของมือ ดังรูปที่ 3.13 แสดงรายละเอียดของข้อต่อต่างๆ บนมือขวาที่เซนเซอร์ได้ถูกติดตั้งไว้

Posterior (Dorsal) View Right Hand



รูปที่ 3.13 แสดงโครงสร้างทางกายวิภาคมือขวาของมนุษย์ [9]

ตัวอย่างองค์ประกอบต่างๆ ของมือขวา เพื่อแสดงรายละเอียดของข้อตามจุดต่างๆ ที่เซนเซอร์ได้ถูกติดตั้งไว้ ดังรูปที่ 3.13 เพื่อนำไปอ้างอิงต่อไป ดังนี้

3.5.1.1 MPJ (Metacarpophalangeal Joint) เป็นข้อต่อที่เชื่อมระหว่างกระดูกนิ้วข้อล่าง (Proximal Phalanx) กับกระดูกฝ่ามือ (Metacarpal) เข้าด้วยกัน

3.5.1.2 PIJ (Proximal Interphalangeal Joint) เป็นข้อต่อที่อยู่ถัดจากข้อต่อ MPJ ขึ้นมาหนึ่งข้อหรืออาจเรียกได้ว่าเป็นส่วนที่เชื่อมระหว่างกระดูกที่ติดกับโคนนิ้วกับกระดูกนิ้วข้อกลางเข้าด้วยกัน

3.5.1.3 DIJ (Distal Interphalangeal Joint) เป็นข้อต่อที่อยู่ถัดจากข้อต่อ PIJ ขึ้นไปเพื่อเชื่อมระหว่างกระดูกนิ้วข้อกลางกับกระดูกปลายนิ้วเข้าด้วยกัน

3.5.1.4 TMJ (Trapeziometacarpal Joint) เป็นข้อต่อมืออยู่ที่นิ้วหัวแม่มือถัดจากข้อต่อ MPJ ของนิ้วหัวแม่มือลงมา มีลักษณะเป็นแอ่งที่ฐานของนิ้วหัวแม่มือเข้าใกล้กับข้อมือ

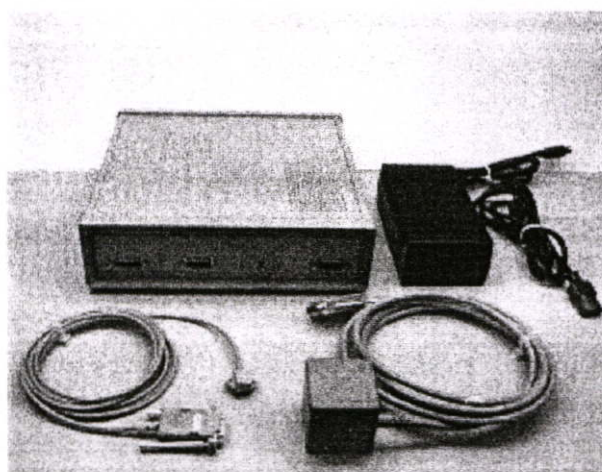
ตารางที่ 3.1 แสดงชื่อย่อ ณ จุดที่ติดตั้งเซนเซอร์

| | |
|-------------------|---|
| นิ้วหัวแม่มือ (T) | TMPJ, TPIJ และ TDIJ |
| นิ้วชี้ (I) | IMPJ ,IPIJ และ IDIJ |
| นิ้วกลาง (M) | MMPJ ,MPIJ และ MDIJ |
| นิ้วนาง (R) | RMPJ ,RPIJ และ RDIJ |
| นิ้วก้อย (P) | PMPJ ,PPIJ และ PDIJ |
| ข้อมือ | หัวแม่มือ และนิ้วชี้ (TABD), นิ้วชี้ และนิ้วกลาง (IABD), นิ้วกลาง และนิ้วนาง (MABD), นิ้วนาง และนิ้วก้อย (PABD) |
| ฝ่ามือ | การงอของฝ่ามือระหว่างนิ้วหัวแม่มือกับนิ้วก้อย |
| ข้อมือ | บิดข้อมือไปข้างหน้า (Pitch) และบิดข้อมือไปข้างๆ (Yaw) |

3.5.2 อุปกรณ์บอกตำแหน่งแบบ 6 แกน (6DOF Tracker)

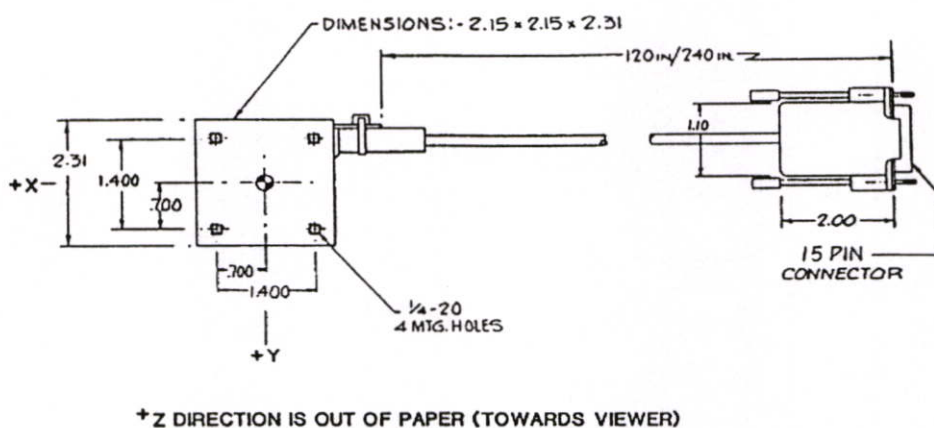
ในระบบคอมพิวเตอร์ที่ทำงานเกี่ยวข้องกับระบบ 3 มิติ เช่น ระบบนำร่อง, ระบบนำวิถีของจรวด หรือระบบสถานะแวดล้อมเสมือน ต้องอาศัยตำแหน่งพิกัดในลักษณะแบบทันที และองศาการหมุน (Orientation) ของวัตถุ ซึ่งความต้องการของระบบดังกล่าวขึ้นอยู่กับการนำไปประยุกต์ใช้ในลักษณะใด โดยแตกต่างที่ตัวแปรที่นำมาใช้ เช่น ระยะทาง, ความแม่นยำ และอัตราความเร็วในการปรับปรุงข้อมูล เป็นต้น ในระบบสถานะแวดล้อมเสมือนต้องการความแม่นยำสูงในการเคลื่อนย้ายวัตถุ แต่ระยะทำการส่วนใหญ่มีขนาดไม่เกินห้องหนึ่งห้อง

อุปกรณ์บอกตำแหน่งแบบ 6 แกน (6DOF Tracker) ที่นำไปใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ทำงานด้วยระบบแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Tracker) ซึ่งผลิตโดยบริษัท Polhemus รุ่น 3 SPACE® ISOTRAK II™ ดังรูปที่ 3.14

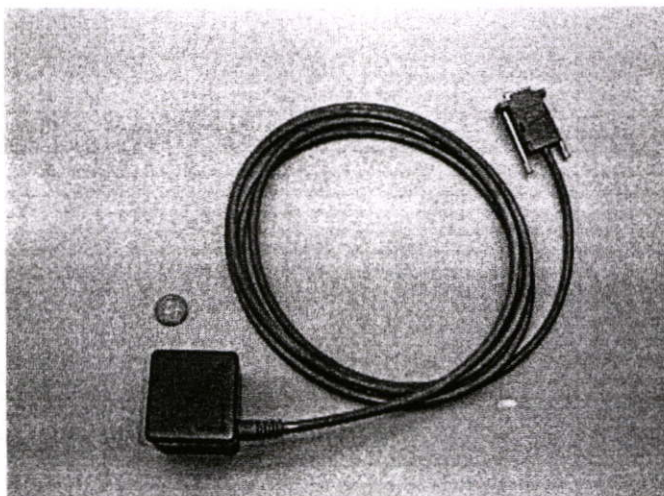


รูปที่ 3.14 แสดงภาพรวมของอุปกรณ์บอกตำแหน่งแบบ 6 แกน (6DOF Tracker) ของบริษัท Polhemus รุ่น 3 SPACE® ISOTRAK II™ [10]

มีส่วนประกอบต่างๆ ดังต่อไปนี้ คือ อุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ดังรูปที่ 3.15 และรูปที่ 3.16 ทำหน้าที่เป็นตัวส่งสัญญาณ และกำหนดตำแหน่งของจุดอ้างอิงเริ่มต้นเมื่อเทียบกับอุปกรณ์รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Receiver) โดยมีรัศมีทำการประมาณ 60 นิ้วขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมในการใช้งาน เพราะอาจถูกรบกวนสัญญาณจากวัตถุที่เป็นโลหะ ทำให้ความแม่นยำ และระยะทำการลดลง



รูปที่ 3.15 แสดงขนาดของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) มาตรฐานเป็นนิ้ว [10]

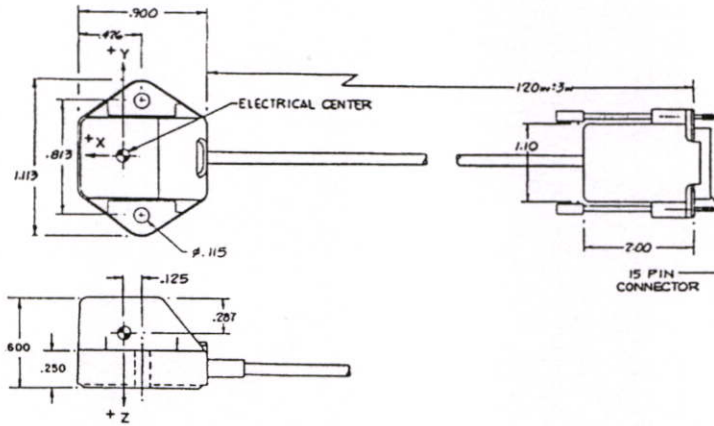


รูปที่ 3.16 แสดงภาพอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) [10]

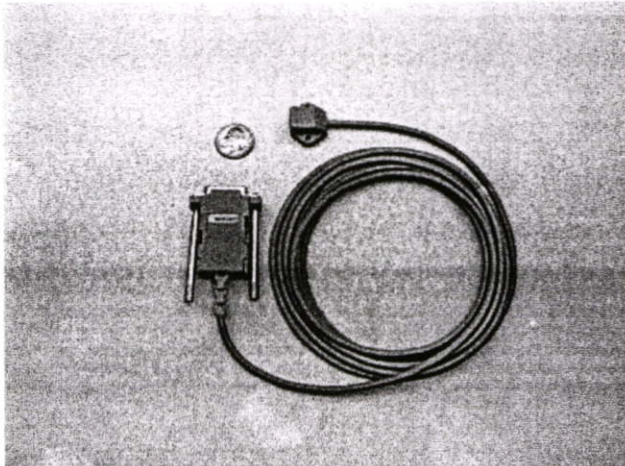
การใช้งานอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ให้วางอยู่ตำแหน่งพื้นราบ ไม่มีการเคลื่อนที่ในขณะที่ใช้งาน และควรให้อยู่ใกล้กับอุปกรณ์รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Receiver) และ

สายส่งสัญญาณควรแยกกับสายรับสัญญาณของอุปกรณ์รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อไม่ให้เกิดการรบกวนของสัญญาณ

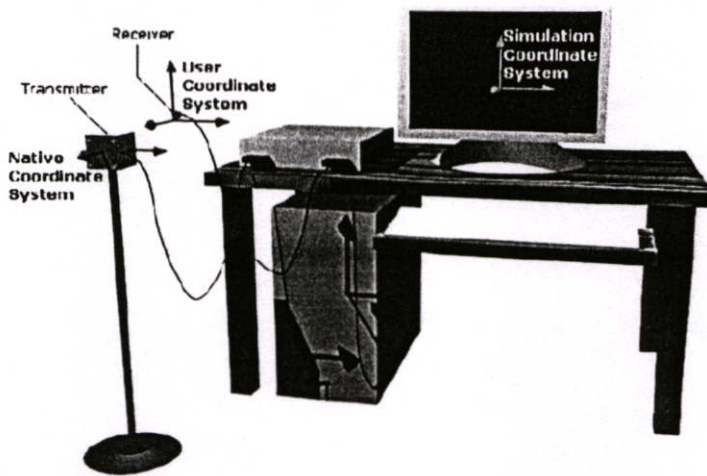
อุปกรณ์รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Receiver) มีขนาดเล็ก และมีจุดรวมสัญญาณไฟฟ้า (Electrical Center) ดังรูปที่ 3.17 และรูปที่ 3.18 ทำหน้าที่รับสัญญาณตำแหน่งพิกัด และองศาการหมุน โดยสัมพันธ์กับอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ดังรูปที่ 3.19 แสดงตำแหน่งและการติดตั้งอุปกรณ์บอกตำแหน่งแบบ 6 แกน



รูปที่ 3.17 แสดงขนาดของอุปกรณ์รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Receiver) มาตรฐานเป็นนิ้ว [10]



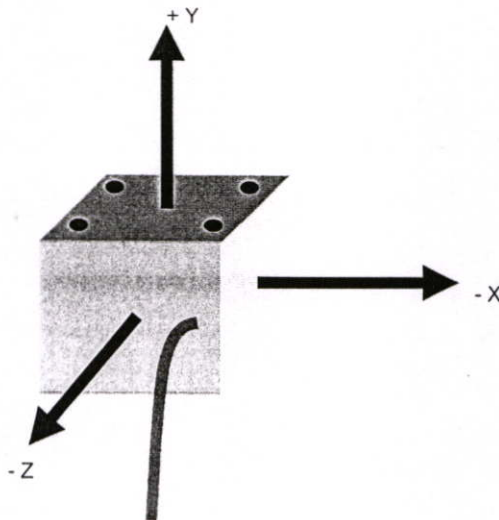
รูปที่ 3.18 แสดงภาพอุปกรณ์รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Receiver) [10]



รูปที่ 3.19 แสดงตำแหน่ง และการติดตั้งอุปกรณ์บอกตำแหน่งแบบ 6 แกน (6DOF Tracker) [8]

3.5.2.1 ค่าตำแหน่งพิกัด (Position)

ค่าตำแหน่งพิกัด (Position) ประกอบด้วยค่าตำแหน่งพิกัดของอุปกรณ์รับสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า (Receiver) หรือเซนเซอร์ในแนวแกน x , y และ z โดยอ้างอิงกับตำแหน่งของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) โดยลักษณะของแกนอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) แสดงดังรูปที่ 3.20

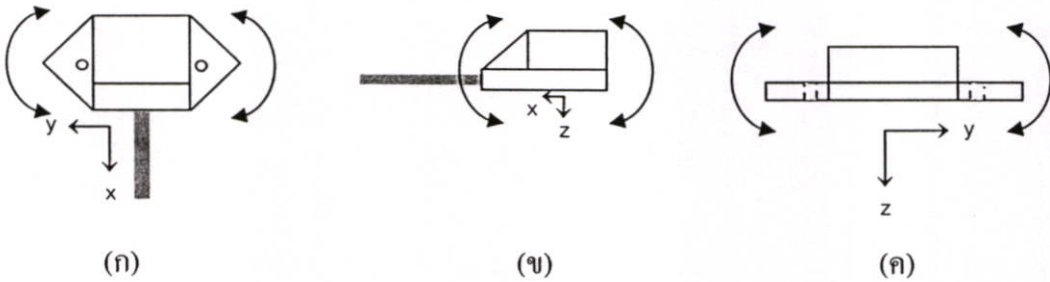


รูปที่ 3.20 แสดงลักษณะของแกนอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) [8]

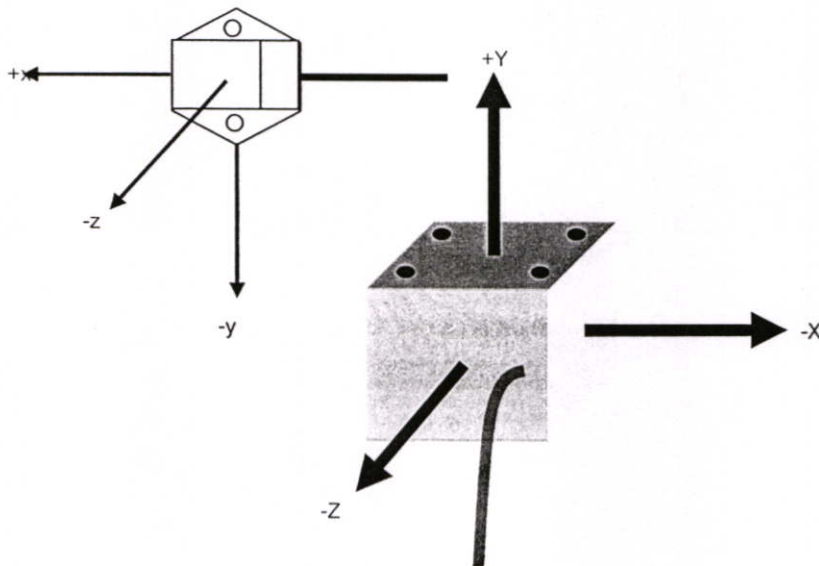
ค่าตำแหน่งพิกัดมีหน่วยวัดเป็นเซนติเมตร ซึ่งระยะห่างระหว่างเซนเซอร์กับอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) จะให้ความถูกต้องแม่นยำ เมื่อเซนเซอร์อยู่ในช่วงรัศมีประมาณ 100 เซนติเมตร โดยวัดจากจุดศูนย์กลางของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter)

3.5.2.2 คำนวณการหมุน (Orientation)

คำนวณการหมุนของเซนเซอร์ประกอบด้วยคำนวณการหมุน 3 ค่าได้แก่ คำนวณการหมุนในแนวราบ (Yaw หรือ Azimuth), คำนวณการหมุนในมุมเงย (Pitch หรือ Elevation) และคำนวณการหมุนในการม้วนเอียง (Roll) ดังรูปที่ 3.21 โดยทิศทางแนวแกนของเซนเซอร์เทียบกับทิศทางแนวแกนของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.21 ลักษณะการหมุนของเซนเซอร์ด้วยคำนวณการหมุน (ก) yaw, (ข) pitch และ (ค) roll



รูปที่ 3.22 ลักษณะแนวแกนของเซนเซอร์เทียบกับแนวแกนของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) เมื่อคำนวณการหมุน yaw, pitch และ roll มีค่าเท่ากับ 0 องศา [8]

ในระบบแกนของเซนเซอร์ และ อุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) นั้นจะต่างกัน โดยระนาบ xy ของเซนเซอร์ จะขนานกับระนาบในแนวราบของระบบพิกัดโลก (World Co-ordinate) และ แกน z อยู่ในแนวตั้ง ในขณะที่ระนาบ xz ของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) จะขนานกับระนาบในแนวราบของระบบพิกัดโลก (World Co-ordinate) และ แกน y อยู่ในแนวตั้ง ดังนั้นเมื่อนำเซนเซอร์วางในแนวราบ ค่าองศาการหมุน yaw จะเป็นค่าองศาการหมุนรอบแกน z ของเซนเซอร์ ซึ่งจะเป็นการหมุนที่ขนานกับระนาบในแนวราบของระบบพิกัดโลก (World Co-ordinate) ส่วนค่าองศาการหมุน pitch จะเป็นค่าการหมุนรอบแกน y ของเซนเซอร์ ซึ่งจะเป็นค่าองศาการหมุนของเซนเซอร์ที่กระทำกับระนาบในแนวราบของระบบพิกัดโลก (World Co-ordinate) และค่าองศาการหมุน roll จะเป็นค่าการหมุนรอบแกน x ของเซนเซอร์ ซึ่งจะเป็นการหมุนเอียงของเซนเซอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.21 (ก) (ข) (ค)

จากรูปที่ 3.22 จะเป็นลักษณะการวางของเซนเซอร์ เมื่อเทียบกับแนวแกนของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) เนื่องจากระบบตำแหน่งพิกัดของอุปกรณ์ทั้ง 2 ต่างกัน ดังนั้นจากรูปที่ 3.22 จะพบว่าเซนเซอร์จะวางอยู่ในลักษณะตั้งฉากกับระนาบในแนวราบของระบบพิกัดโลก (World Co-ordinate)

ค่าองศาการหมุนที่อ่านได้จากเซนเซอร์มีหน่วยเป็นเรเดียน (Radian) โดยแต่ละค่าองศาการหมุนมีช่วงของค่าดังนี้

$$-\pi \leq \alpha \leq \pi \quad (3.1)$$

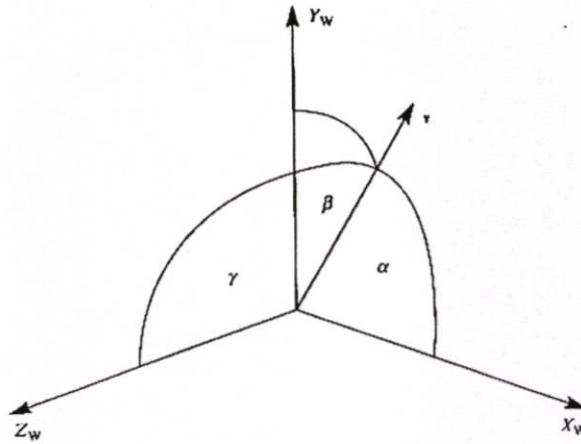
$$-\pi/2 \leq \beta \leq \pi/2 \quad (3.2)$$

$$-\pi \leq \gamma \leq \pi \quad (3.3)$$

โดยที่ α, β, γ คือค่าองศาการหมุน yaw, pitch และ roll ตามลำดับ โดยค่าองศาการหมุนทั้ง 3 ค่าเป็นตามระบบ Euler Angles ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำระบบ Direction Cosine Matrix มาใช้แทนเนื่องจากรูปแบบนั้นง่ายต่อการทำความเข้าใจ

3.6 Direction Cosine

Direction Cosine เป็นการใช้ค่า Cosine แสดงทิศทางของเวกเตอร์ใดๆ ที่กระทำกับแกน x, y และ z ที่เวกเตอร์นั้นอ้างอิง ดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 แสดง Direction Cosine ของเวกเตอร์ที่กระทำกับแกนอ้างอิง [5]

ในการหาค่า Cosine ของเวกเตอร์ที่กระทำกับแกน x , y และ z ของแกนอ้างอิงนั้น สามารถหาได้ดังนี้

$$\mathbf{v} = [x \quad y \quad z]^T \quad (3.4)$$

$$\cos \phi_x = \frac{x}{|\mathbf{v}|} \quad , \quad \cos \phi_y = \frac{y}{|\mathbf{v}|} \quad , \quad \cos \phi_z = \frac{z}{|\mathbf{v}|} \quad (3.5)$$

โดยที่ \mathbf{v} แทนเวกเตอร์ใดๆ และ $\cos \phi_x$, $\cos \phi_y$, $\cos \phi_z$ คือค่า Cosine ของเวกเตอร์ที่กระทำกับแกน x , y และ z ของแกนอ้างอิงตามลำดับ โดย $\cos^2 \phi_x + \cos^2 \phi_y + \cos^2 \phi_z = 1$ ดังนั้นถ้ากำหนดให้ $\mathbf{p} = [\cos \phi_x \quad \cos \phi_y \quad \cos \phi_z]$ จะได้เวกเตอร์ \mathbf{p} เป็นเวกเตอร์หนึ่งหน่วย (Unit Vector) ของ \mathbf{v} เมื่อทำการแทนเวกเตอร์ใดๆ ด้วยแกนของวัตถุ จะได้เวกเตอร์ 3 เวกเตอร์ที่ตั้งฉากซึ่งกันและกัน เมื่อนำทิศทางในแต่ละแกนของวัตถุมาหาค่า Direction Cosine เทียบกับแกนอ้างอิง จะได้ Direction Cosine Matrix สมการ 3.6

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

โดยที่ r_{11} , r_{12} และ r_{13} คือค่า Cosine ที่แกน x ของวัตถุกระทำกับแกน x, y และ z ของแกนอ้างอิง ตามลำดับ

โดยที่ r_{21} , r_{22} และ r_{23} คือค่า Cosine ที่แกน y ของวัตถุกระทำกับแกน x, y และ z ของแกนอ้างอิง ตามลำดับ

โดยที่ r_{31} , r_{32} และ r_{33} คือค่า Cosine ที่แกน z ของวัตถุกระทำกับแกน x, y และ z ของแกนอ้างอิง ตามลำดับ

3.7 การแปลงเชิงเรขาคณิต (Geometric transformation)

การแปลงเชิงเรขาคณิตในคอมพิวเตอร์กราฟิกเป็นการเปลี่ยนตำแหน่งพิกัด ขนาด หรือ หมุนวัตถุ มีดังนี้คือ การเคลื่อนย้ายวัตถุ (Translation), การปรับขนาดวัตถุ (Scaling) และการหมุนวัตถุ (Rotation) เนื่องจากวิทยานิพนธ์นี้เกี่ยวข้องกับ การเคลื่อนย้ายวัตถุ (Translation) เพียงอย่างเดียว โดยอธิบายได้ดังนี้

3.7.1 การแปลงเชิงเรขาคณิต 2 มิติในลักษณะการเคลื่อนย้ายวัตถุ

การแปลงเชิงเรขาคณิต 2 มิติสำหรับคอมพิวเตอร์โดยทั่วไปจะใช้เมทริกซ์ ขนาด 3x3 เนื่องจากสามารถนำมาใช้ในการเขียนโปรแกรมด้วยคอมพิวเตอร์ได้ง่าย ในการคำนวณด้วยเมทริกซ์นั้นจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนพิกัด 2 มิติให้อยู่ในรูปของ พิกัดเอกพันธ์ (Homogeneous coordinates) เสียก่อน เช่น พิกัด (x, y) จะเขียนอยู่ในรูปของ (x, y, h) โดยทั่วไปจะกำหนดให้ h มีค่าเท่ากับ 1

การเคลื่อนย้ายวัตถุ (Translation) ใน 2 มิติ หมายถึง จุดใดๆ ที่ถูกวาดในระบบพิกัดคาร์ทีเซียน (Cartesian) แบบ 2 มิติถูกเคลื่อนย้ายไปตำแหน่งต่างๆ โดยการเปลี่ยนพิกัด (x, y) โดยสามารถเขียนได้ดังสมการ 3.7

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

เมื่อ x, y = ค่าตำแหน่งพิกัดเดิม

t_x, t_y = ระยะทางที่ต้องการเคลื่อนย้ายไปตามแกนนอน และตั้ง

$x', y' =$ ค่าตำแหน่งพิกัดใหม่ที่คำนวณได้จากสมการ

3.7.2 การแปลงเชิงเรขาคณิต 3 มิติในลักษณะการเคลื่อนย้ายวัตถุ

การแปลงเชิงเรขาคณิต 3 มิติสำหรับคอมพิวเตอร์โดยทั่วไปจะใช้เมทริกซ์ ขนาด 4×4 และในการคำนวณด้วยเมทริกซ์จำเป็นจะต้องมีการเปลี่ยนพิกัด 3 มิติให้อยู่ในรูปของพิกัดเอกพันธ์ (Homogeneous coordinates) ก่อน เช่น พิกัด (x, y, z) จะเขียนอยู่ในรูปของ (x, y, z, h) โดยทั่วไปจะกำหนดให้ h มีค่าเท่ากับ 1

การเคลื่อนย้ายวัตถุ (Translation) ใน 3 มิติ หมายถึง การเคลื่อนย้ายวัตถุไปยังตำแหน่งพิกัดต่างๆ ในแกนอ้างอิง 3 มิติ โดยสามารถเขียนได้ดังสมการ 3.8

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & 0 & t_y \\ 0 & 0 & 1 & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

เมื่อ $x, y, z =$ ค่าตำแหน่งพิกัดเดิม

$t_x, t_y, t_z =$ ระยะทางที่ต้องการปรับเปลี่ยนไปตามแกนนอน และแกนตั้ง

$x', y', z' =$ ค่าตำแหน่งพิกัดใหม่ที่คำนวณได้จากสมการ

บทที่ 4

เทคนิคการปฏิสัมพันธ์ Light-Pointing และการจัดการ เคลื่อนไหว ท่าทางของมือ

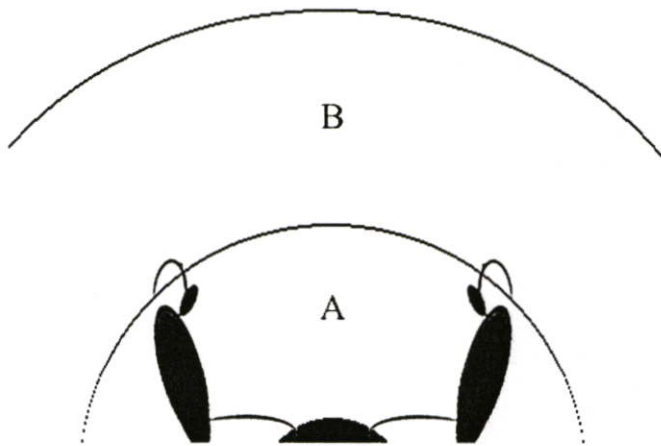
4.1 เทคนิคการปฏิสัมพันธ์ Light-Pointing

จากแผนผังพื้นฐานในการปฏิสัมพันธ์ภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือนที่ได้กล่าวข้างต้น [1] เป็นตัวกำหนดการแบ่งรูปแบบการกระทำกับวัตถุ (object manipulation modes) ซึ่งการพัฒนาเทคนิคการปฏิสัมพันธ์ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละรูปแบบการกระทำต่อวัตถุ มีปัจจัยที่ต้องพิจารณาอยู่ 2 ปัจจัยหลัก

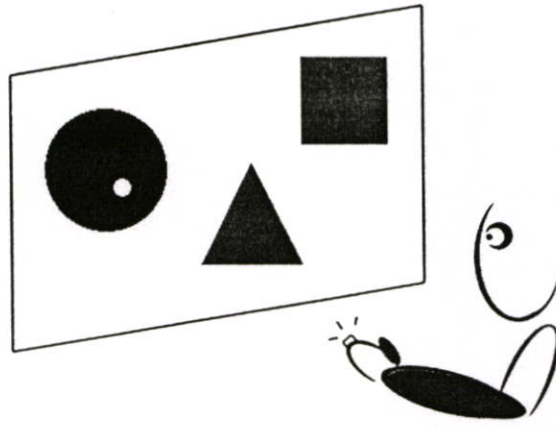
- การเลือกรูปแบบของการปฏิสัมพันธ์ที่เหมาะสม
- การเลือกท่ามือที่เหมาะสม

4.1.1 การเลือกรูปแบบการปฏิสัมพันธ์ที่เหมาะสม

ลักษณะการปฏิสัมพันธ์โดยตรงโดยใช้การเคลื่อนที่ของมือ ในการเลือก หยิบจับวัตถุ มีข้อจำกัดในระยะทำการ ซึ่งขึ้นอยู่กับช่วงแขนของผู้ใช้ ดังรูปที่ 4.1 พื้นที่ A หรือพื้นที่เฉพาะที่ (Local) เนื่องจากข้อจำกัดดังกล่าว ทำให้มีการพัฒนาเทคนิคการปฏิสัมพันธ์ต่างๆ ขึ้นเพื่อให้ผู้ใช้สามารถเพิ่มระยะทำการพื้นที่ A เป็นพื้นที่ B หรือพื้นที่ครอบคลุม (Global) ได้

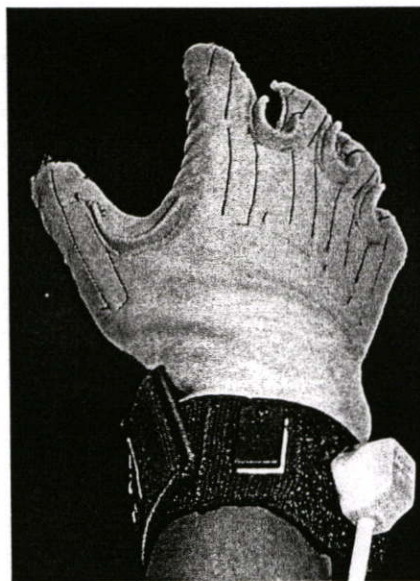


รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะของพื้นที่ระยะทำการของช่วงแขนในส่วน A และพื้นที่ระยะทำการเมื่อใช้เทคนิคการปฏิสัมพันธ์เพื่อเพิ่มระยะทำการในส่วน B



รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะการใช้งานทั่วไปด้วยอุปกรณ์ชี้ด้วยแสงเลเซอร์

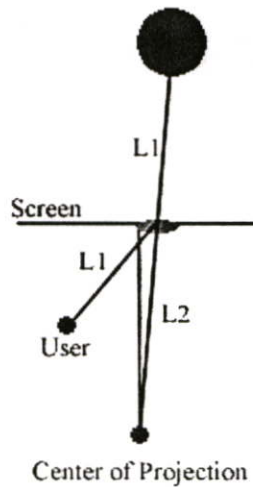
เทคนิคนี้ได้เลียนแบบการเคลื่อนที่ของจุดแสงที่ตกกระทบบนจอภาพ โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งแบบ 6 แกนติดตั้งอยู่บนถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ (CyberGlove) บริเวณหลังข้อมือ ดังรูปที่ 4.4 โดยใช้ตำแหน่งหลังข้อมือเป็นวัตถุที่ต้องการคล้ายกับการใช้อุปกรณ์ชี้ด้วยแสงเลเซอร์ ทำงานด้วยการส่ายข้อมือ และท่อนแขนเพื่อบังคับจุดแสงที่อยู่บนจอภาพ เพื่อชี้เลือกวัตถุได้ สามารถเพิ่มความสามารถในการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุในแนวแกน z ได้ สามารถอธิบายการทำงานโดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้ คือ การสร้างจุด และลำแสงเสมือน การตรวจจับการชน และวิธีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งวัตถุในแนวแกน z



รูปที่ 4.4 แสดงอุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งแบบ 6 แกนที่ถูกติดตั้งอยู่บนถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ (CyberGlove) บริเวณหลังข้อมือ

4.1.1.1 การสร้างจุด และลำแสงเสมือน

ลักษณะโครงสร้างการทำงานจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือส่วนแรกจะคำนวณตำแหน่งการตกกระทบของลำแสงบนจอภาพ คือระยะจากจุดฉายภาพกับจอภาพ คือ ระยะ L2 โดยนำค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์ของอุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งแบบ 6 แกน ซึ่งประกอบด้วยค่าตำแหน่งของแกน x, y, z และค่าองศาการหมุน yaw, pitch, roll ตัดกับจุดฉายภาพ (Center of Projection) ของวัตถุบนจอภาพในลักษณะ 2 มิติ เพื่อใช้ในการเลือกวัตถุ ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะการทำงานของเทคนิค Light Pointing

จากนั้นคำนวณตำแหน่งจากการตกกระทบลำแสงบนจอภาพเพื่อนำไปสร้างลำแสงเสมือน คือ ระยะ L1 เพื่อปรับเปลี่ยนตำแหน่งวัตถุในแนวแกน z ที่อยู่ภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือน จากการคำนวณ ซึ่งได้นำสมการที่ (4.1), (4.2) และ (4.3) มาประยุกต์ใช้ดังนี้

$$R_{x_end_position} = ((\cos \alpha \cdot \cos \beta) \times R_{length}) + R_{x_origin} \quad (4.1)$$

$$R_{y_end_position} = ((\cos \alpha \cdot \cos \beta) \times R_{length}) + R_{y_origin} \quad (4.2)$$

$$R_{z_end_position} = (-\sin \beta \times R_{length}) + R_{z_origin} \quad (4.3)$$

$R_{x_end_position}$ คือ ตำแหน่งจุดปลายของลำแสงเสมือนของแกน x

$R_{y_end_position}$ คือ ตำแหน่งจุดปลายของลำแสงเสมือนของแกน y

$R_{z_end_position}$ คือ ตำแหน่งจุดปลายของลำแสงเสมือนของแกน z

R_{length} คือ ความยาวของลำแสง

R_{x_origin} คือ ตำแหน่งเริ่มต้นของจุดแสงของแกน x

R_{y_origin} คือ ตำแหน่งเริ่มต้นของจุดแสงของแกน y

R_{z_origin} คือ ตำแหน่งเริ่มต้นของจุดแสงของแกน z

α, β คือ องศาการหมุน yaw, pitch

สร้างจุดแสงเสมือนโดยคำนวณได้จากสมการที่ (4.4), (4.5), (4.6), (4.7) และ(4.8) ดังนี้

$$L_x = ((\cos \alpha \cdot \cos \beta) \times Z_{COP}) + R_{x_origin} \quad (4.4)$$

$$L_y = ((\cos \alpha \cdot \cos \beta) \times Z_{COP}) + R_{y_origin} \quad (4.5)$$

$$L_z = (-\sin \beta \times Z_{COP}) + R_{z_origin} \quad (4.6)$$

L_x คือ ตำแหน่งจุดปลายของลำแสงเสมือนที่ฉายลงบนจอภาพของแกน x

L_y คือ ตำแหน่งจุดปลายของลำแสงเสมือนที่ฉายลงบนจอภาพของแกน y

L_z คือ ตำแหน่งจุดปลายของลำแสงเสมือนที่ฉายลงบนจอภาพของแกน z

Z_{COP} คือ ตำแหน่งเริ่มต้นของจุดฉายภาพของแกน z

R_{x_origin} คือ ตำแหน่งเริ่มต้นของจุดแสงของแกน x

R_{y_origin} คือ ตำแหน่งเริ่มต้นของจุดแสงของแกน y

R_{z_origin} คือ ตำแหน่งเริ่มต้นของจุดแสงของแกน z

α, β คือ องศาการหมุน yaw, pitch

$$X_{position} = ((R_{z_origin} - L_z) \div (R_{z_end_position} - L_z)) \times (R_{x_end_position} - L_x) + L_x \quad (4.7)$$

$$Y_{position} = ((R_{z_origin} - L_z) \div (R_{z_end_position} - L_z)) \times (R_{y_end_position} - L_y) + L_y \quad (4.8)$$

$X_{position}$ คือ ตำแหน่งของจุดแสงเสมือนที่ฉายบนจอภาพแกน x

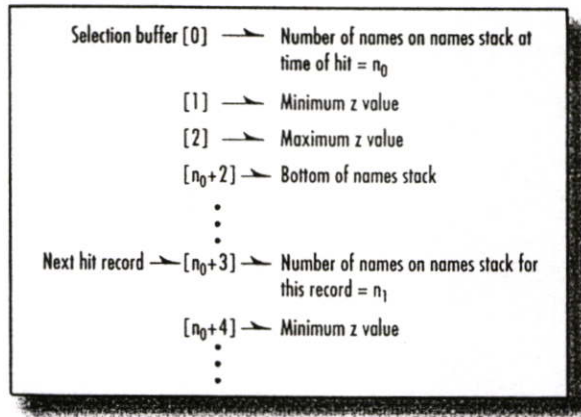
$Y_{position}$ คือ ตำแหน่งของจุดแสงเสมือนที่ฉายบนจอภาพแกน y

4.1.1.2 การตรวจจับการชน

ลักษณะการตรวจจับการชนแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้ คือ

- การตรวจจับการชนของจุดแสงกับวัตถุที่ฉายบนจอภาพในลักษณะ 2 มิติ ใช้วิธีการการเลือกบัฟเฟอร์ (The Selection Buffer) ใน OpenGL Library ดังรูปที่ 4.6 การระบุตำแหน่งการชนของจุดแสงและวัตถุ 2 มิติ โดยจะจับการบันทึกค่าบัฟเฟอร์ (Hit Record) ที่พบในหน่วยความจำในช่วงการสร้างแบบจำลอง หรือเรนเดอร์ภาพ (Render Process) ถ้าพบว่า ณ ตำแหน่งพิกัดที่จุดแสงไม่มีการซ้อนกันของวัตถุในช่วงเรนเดอร์ภาพค่าการบันทึกค่าบัฟเฟอร์ (Hit Record) จะ

เท่ากับ 0 แต่เมื่อพบว่ามีารซ้อนกันของวัตถุอยู่ในตำแหน่งพิกัดของจุดแสงค่าการบันทึกค่าบัฟเฟอร์ (Hit Record) จะเท่ากับ 1 เมื่อวัตถุอยู่ทับซ้อนกันตรวจสอบโดยใช้ตำแหน่งพิกัดความลึกของแต่ละวัตถุในการเปรียบเทียบ



รูปที่ 4.6 อธิบายกระบวนการทำงานการเลือกบัฟเฟอร์ของ OpenGL Library [11]

- การตรวจจับการชนของลำแสงเสมือนกับวัตถุ 3 มิติภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือน ใช้วิธีการคำนวณจุดที่ลำแสงสัมผัสกับวัตถุในลักษณะตั้งฉากกับรัศมีของวัตถุ 3 มิติ โดยได้นำสมการมาประยุกต์ใช้ดังนี้

$$A = (x_1 - x_0) \quad (4.9)$$

$$B = (y_1 - y_0) \quad (4.10)$$

$$C = (z_1 - z_0) \quad (4.11)$$

โดยกำหนดให้ $x_0, y_0, z_0 = 0$

โดยที่

$$\vec{v} \cdot \vec{u} = 0 \quad (4.12)$$

$$\vec{v} = (x_1 - x_0)\vec{i} + (y_1 - y_0)\vec{j} + (z_1 - z_0)\vec{k} \quad (4.13)$$

$$\vec{u} = (x' - x_2)\vec{i} + (y' - y_2)\vec{j} + (z' - z_2)\vec{k} \quad (4.14)$$

$$\vec{v} \cdot \vec{u} = (x' - x_2)(x_1 - x_0) + (y' - y_2)(y_1 - y_0) + (z' - z_2)(z_1 - z_0) = 0 \quad (4.15)$$

$$\frac{x' - x_0}{x_1 - x_0} = \frac{y' - y_0}{y_1 - y_0} = \frac{z' - z_0}{z_1 - z_0} \quad (4.16)$$

$$z' = \left[\frac{(x' - x_2)(x_0 - x_1) + (y' - y_2)(x_0 - x_1)}{z_1 - z_0} \right] + z_2 \quad (4.17)$$

$$y' = \left[\frac{B \cdot A(x_2 - x') + BCz_2 + Bz_0 + C^2y_0 + y_2B^2}{(C^2 + B^2)} \right] \quad (4.18)$$

โดยที่ $C^2 + B^2 \neq 0$ จากสมการที่ 4.18

$$x' = \frac{A(BCz_2 + Bz_0 + C^2y_0 + y_2B^2) + (x_0B - Ax_0)(C^2 + B^2) + (BA^2x_2)}{(C^2B + B^3 + BA^2)} \quad (4.19)$$

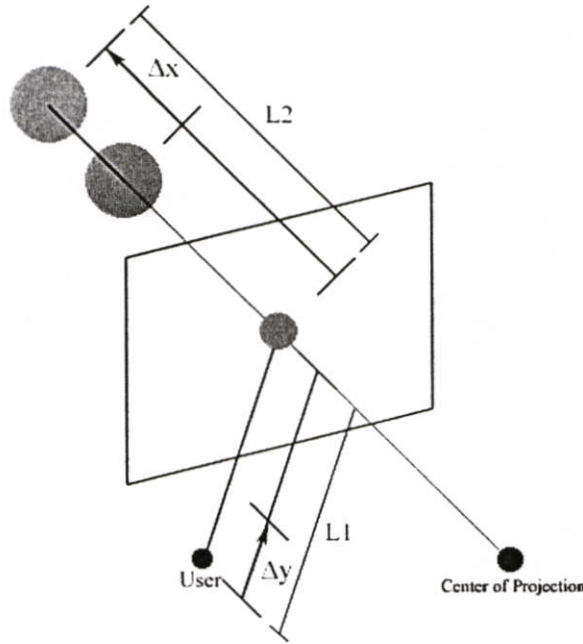
โดยที่ $(C^2B + B^3 + BA^2) \neq 0$ จากสมการที่ 4.19

จากสมการที่ (4.17), (4.18) และ (4.19) จะได้ตำแหน่งพิกัด x' , y' และ z' ของจุดที่ลำแสงตั้งฉากกับวัตถุ 3 มิติ ภายใต้สถานะแวดล้อมเสมือน นอกจากทำให้ทราบตำแหน่งพิกัดในการตรวจจับการชนแล้ว ยังทำให้ผู้ใช้สามารถใช้ตำแหน่งพิกัดในแนวแกน z เพื่อปรับเปลี่ยนตำแหน่งวัตถุ 3 มิติตามต้องการอีกด้วย

4.1.1.3 วิธีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งวัตถุในแนวแกน z

เทคนิค Light-Pointing เดิมพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาการปฏิสัมพันธ์การเลือกวัตถุภายใต้สถานะแวดล้อมเสมือนในมุมมองภาพเดียว ซึ่งทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเข้าถึงวัตถุได้ จากนั้นได้พิจารณาการปฏิสัมพันธ์เพิ่มเติมโดยเพิ่มความสามารถในการปรับเปลี่ยนตำแหน่งวัตถุในแนวแกน z เนื่องจากเทคนิคการปฏิสัมพันธ์พื้นฐานเดิม คือ เทคนิค Ray-Casting ไม่สามารถปรับเปลี่ยนตำแหน่งวัตถุในแนวแกน z ได้ ทั้งนี้ได้พัฒนาการใช้งานเป็น 2 รูปแบบ คือ รูปแบบธรรมชาติ เป็นการควบคุมวัตถุที่มีลักษณะตามมือผู้ใช้ เช่น คิงวัตถุเข้าหาตัวหรือออกห่างผู้ใช้ และรูปแบบไม่ธรรมชาติ เป็นการควบคุมวัตถุที่ขัดแย้งกับการเคลื่อนที่ในรูปแบบธรรมชาติ เช่น การเคลื่อนที่โดยอาศัยหลักการภาพสะท้อนของกระจกเงา (mirror metaphor) เป็นต้น มี 5 วิธีดังต่อไปนี้

- วิธีที่ 1 รูปแบบธรรมชาติ สัดส่วนที่แบบอัตราส่วน 1:1 เมื่อผู้ใช้เคลื่อนที่มือเข้า หรือ ออกห่างจากตัวผู้ใช้ (Δy) 1 หน่วย วัตถุจะเคลื่อนที่ (Δx) ตามมือผู้ใช้ในลักษณะ 1 หน่วยเช่นกัน ดังรูปที่ 4.7 และได้นำสมการที่ 4.20 มาประยุกต์ใช้ดังนี้

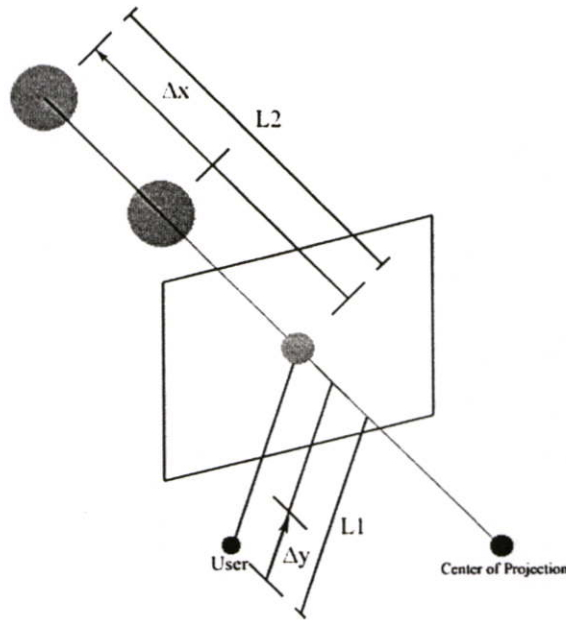


รูปที่ 4.7 แสดงตัวอย่างวิธีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งวัตถุในแนวแกน z สัดส่วนที่แบบอัตราส่วน 1:1

$$\bar{L}1 + \bar{L}2 = k \quad (4.20)$$

- เมื่อ $L1$ คือ ระยะห่างระหว่างจุดผู้ใช้ ไปยังจอภาพ
 $L2$ คือ ระยะห่างระหว่างจุดมองภาพ ไปยังตำแหน่งตั้งต้นของวัตถุ
 k คือ ค่าคงที่

- วิธีที่ 2 รูปแบบธรรมชาติ สัดส่วนที่แบบอัตราส่วน 1:2 เมื่อผู้ใช้เคลื่อนที่มือเข้า หรือ ออกห่างจากตัวผู้ใช้ (Δy) 1 หน่วย วัตถุจะเคลื่อนที่ (Δx) ตามมือผู้ใช้ในลักษณะ 2 หน่วยเช่นกัน ดังรูปที่ 4.8 และได้นำสมการที่ 4.21 มาประยุกต์ใช้ดังนี้

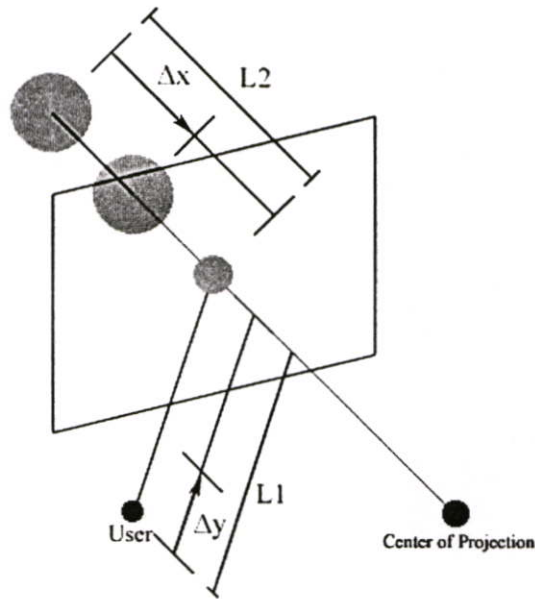


รูปที่ 4.8 แสดงตัวอย่างวิธีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งวัตถุในแนวแกน z สัดส่วนคงที่
แบบอัตราส่วน 1:2

$$\frac{\Delta x}{\Delta y} = \frac{L2}{L1} \quad (4.21)$$

- เมื่อ Δx คือ ระยะการเคลื่อนที่ของวัตถุจากตำแหน่งตั้งต้น ไปยังตำแหน่งใดๆ
 Δy คือ ระยะการเคลื่อนที่ของตำแหน่งมือของผู้ใช้
 $L1$ คือ ระยะห่างระหว่างจุดผู้ใช้ ไปยังจอภาพ
 $L2$ คือ ระยะห่างระหว่างจุดมองภาพ ไปยังตำแหน่งตั้งต้นของวัตถุ

- วิธีที่ 3 รูปแบบไม่เป็นธรรมชาติ อาศัยหลักการภาพสะท้อนของกระจกเงา (mirror metaphor) โดยมีอัตราส่วน คือ 1:1 และ 1:2 เมื่อผู้ใช้เคลื่อนที่มือเข้าหาจอภาพวัตถุจะเคลื่อนที่เข้าหาผู้ใช้คล้ายกระจกเงา ดังรูปที่ 4.9 มาประยุกต์ใช้โดยค่าของ Δx จะตรงข้ามกับวิธีที่หนึ่ง และวิธีที่สอง

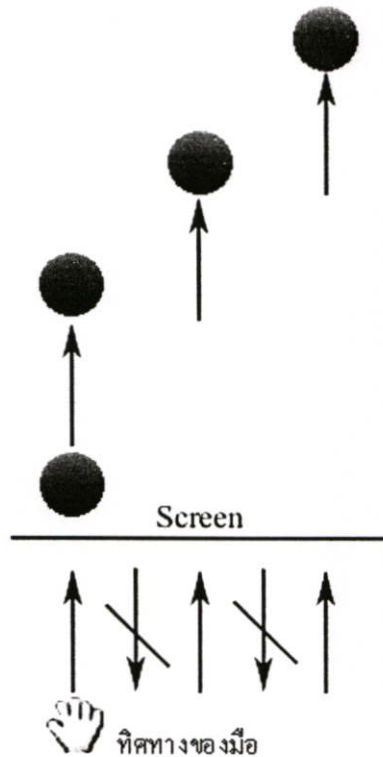


รูปที่ 4.9 แสดงตัวอย่างวิธีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งวัตถุในแนวแกน z โดยอาศัย mirror metaphor

- วิธีที่ 4 รูปแบบธรรมชาติ แบบ non-linear โดยนำวิธีการ non-linear mapping มาประยุกต์ใช้ในการเคลื่อนที่ในแนวแกน z
- วิธีที่ 5 รูปแบบไม่เป็นธรรมชาติอาศัยหลักการทำงานของไขควงแบบทิศทางเดียว (ratchet screwdriver metaphor or one-way screwdriver metaphor) โดยมีอัตราส่วนคือ 1:1 และ 1:2 เมื่อผู้ใช้เคลื่อนที่มือเข้าหาตัวผู้ใช้วัตถุจะเคลื่อนที่เข้าหาผู้ใช้เช่นกัน แต่ในทิศทางกลับกันจะไม่นำมาคำนวณการเคลื่อนที่ ดังรูปที่ 4.10 และได้นำสมการที่ 4.22 มาประยุกต์ใช้

$$z' = z_{current_position} - z_{last_position} \quad (4.22)$$

โดยกำหนดให้ $-1 > z' > 1$ จากสมการที่ 4.22



รูปที่ 4.10 แสดงตัวอย่างวิธีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งวัตถุในแนวแกน z โดยอาศัย one-way screwdriver metaphor

4.1.2 การเลือกท่ามือที่เหมาะสม

มาตรฐานของท่ามือที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับงานทางด้านภาษามือ โดยท่ามือต่างๆ ที่เกิดขึ้น เกิดจากวัฒนธรรม และสภาพแวดล้อมทั่วไปของแหล่งกำเนิด ส่วนท่ามือที่นำมาประยุกต์ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้มีความแตกต่างจากท่ามือที่ใช้ในระบบภาษามือ เนื่องจากจำนวน Sensor ที่นำมาประยุกต์ใช้มีจำนวนน้อยกว่า และเพียงพอต่อการประยุกต์ใช้งาน ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้ปัจจัยในการเลือกท่ามือที่เหมาะสมมีดังต่อไปนี้

- ประสิทธิภาพ (efficiency) พิจารณาความเร็ว และอัตราความผิดพลาดของท่ามือในระหว่างปฏิบัติงาน

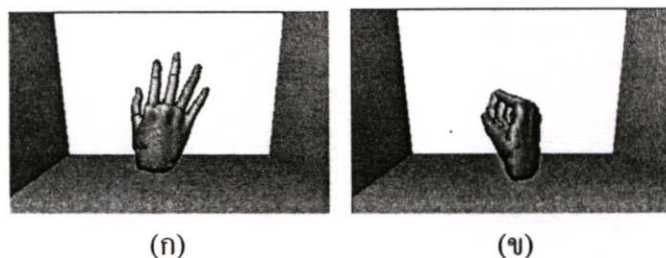
- ง่ายต่อการเรียนรู้ (ease of use) ผู้ใช้สามารถเข้าใจความหมายจากท่ามือ จากการใช้งานในชีวิตประจำวัน เช่น ท่ามือจับวัตถุ เป็นต้น

- จดจำวิธีการใช้งานได้ (retention) ท่ามือบางลักษณะไม่มีความหมาย เมื่อเพิ่มคำสั่งให้กับท่ามอดังกล่าว ผู้ใช้สามารถรู้จำท่ามือ และประยุกต์ใช้งานได้

ลักษณะท่ามือที่เหมาะสม ควรสอดคล้องกับการออกคำสั่งในการปฏิบัติงาน ถ้ายังบิดจากท่าที่ใช้ในชีวิตประจำวันมากเท่าไร ยิ่งไม่เหมาะสม เนื่องจากเกิดความเมื่อยล้า และยากต่อการใช้งาน

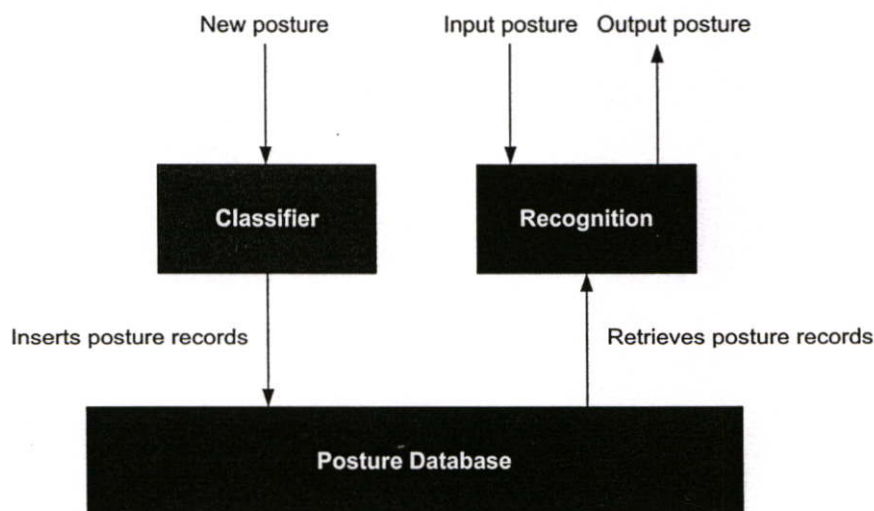
4.2 การจัดการเคลื่อนไหว ทำทางของมือ

การจัดเก็บข้อมูลท่ามือเพื่อทำการทดลอง โดยกำหนดรูปแบบท่ามือสำหรับการออกคำสั่ง เพื่อปฏิสัมพันธ์กับวัตถุผ่านถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ (CyberGlove) โดยรูปแบบของท่ามือที่เกิดขึ้น ต้องอยู่ในเงื่อนไขที่เข้าใจได้ง่าย เรียนรู้ได้เร็ว สามารถสื่อถึงความหมายที่จะนำไปใช้ในการออกคำสั่ง และไม่อยู่ในรูปแบบที่ก่อให้เกิดความเมื่อยล้าได้ง่าย ตัวอย่างท่ามือบางส่วน ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แสดงตัวอย่างท่ามือ (ก) ท่ามือแสดงสถานะว่าง (ข) ท่ามือจับวัตถุ

ใช้โปรแกรมต้นแบบที่พัฒนาขึ้นจัดเก็บข้อมูล ซึ่งวิทยานิพนธ์นี้ใช้เซนเซอร์ของถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ (CyberGlove) 12 ตัว ประกอบด้วยนิ้วหัวแม่มือ นิ้วชี้ และนิ้วกลาง โดยจัดเก็บข้อมูลท่ามือในแต่ละท่ามือเป็นจำนวน 10 ครั้ง ลงฐานข้อมูล ชนิดของข้อมูลที่เก็บเป็นข้อมูลดิบ ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0-255 โดยขึ้นอยู่กับการโค้งงอของนิ้วมือ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ออกมาเฉลี่ยในแต่ละชุดข้อมูลท่ามือ เพื่อนำไปประมวลผลในส่วนการจำแนก และรู้จำท่ามือ โดยอ้างอิง และเปรียบเทียบกับข้อมูลที่มีอยู่ในฐานข้อมูล ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 แผนผังขั้นตอนการจัดเก็บข้อมูล จำแนก และรู้จำท่ามือ

4.2.1 ขั้นตอนการจำแนก และรู้จำท่ามือ

เทคนิคการจำแนก และรู้จำท่ามือ ในวิทยานิพนธ์นี้ใช้ Minimum Distance Algorithm Pattern Recognition ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่ง ดังสมการที่ 4.23 ดังนี้

$$\theta_i(x) = -\min_j d(x, x^{i,j}) \quad (4.23)$$

เมื่อ x คือ ข้อมูลที่รับมาจากเซนเซอร์ของถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ (CyberGlove)
 $x^{i,j}$ คือ ข้อมูลเฉลี่ยของแต่ละเซนเซอร์ในแต่ละท่ามือที่ถูกเก็บในฐานะข้อมูล
 i, j คือ ตำแหน่งแถว และคอลัมน์ในแต่ละชุดข้อมูล

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

จากสมการที่ 4.23 เมื่อผู้ใช้ส่งค่าท่ามือจากถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ (CyberGlove) ในขณะที่ทำการเก็บค่าท่ามือเข้ามาในส่วนฟังก์ชัน $d(x, x^{i,j})$ ซึ่งเป็นส่วนการรู้จำ ถ้าค่าท่ามื่อดังกล่าวมีค่าระยะห่างใกล้เคียงกับค่าท่ามือเฉลี่ยที่ถูกเก็บในฐานะข้อมูล ผู้ใช้สามารถออกคำสั่งฟังก์ชันที่ถูกกำหนดรูปแบบไว้ในโปรแกรมต้นแบบด้วยท่ามือ

บทที่ 5

ผลการทดลอง

5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง และการจัดเก็บค่าท่ามือ

5.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- เครื่องคอมพิวเตอร์ PC Intel Pentium 4 1.8 GHz
- ถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ (CyberGlove) มือขวาชนิด 22 เซนเซอร์ พัฒนาโดยบริษัท อิมเมอร์ชัน โควออปเปอร์เรต (Immersion Corporate) สำหรับใช้ติดต่อกะหว่างผู้ใช้กับ โปรแกรม
- อุปกรณ์บอกตำแหน่งแบบ 6 แกน (6 DOF Tracker) พัฒนาโดยบริษัท Polhemus รุ่น 3 SPACE[®] ISOTRAK II[™] จำนวน 1 เซนเซอร์
(Resolution 0.0038 cms/cm of range, Update Rate 60 updates/second)
- โปรแกรมต้นแบบพัฒนาขึ้น เพื่อจำลองสถานะแวดล้อมเสมือน ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดขึ้น โดยติดต่อกับถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ (CyberGlove) อุปกรณ์บอกตำแหน่งแบบ 6 แกน (6 DOF Tracker) และโปรแกรมจัดเก็บข้อมูล โดยพัฒนาจากโปรแกรม Microsoft[®] Visual C++ 6.0
- Virtual Hand Library Version 2.4
- OpenGL Library 1.2
- MatLab[®] Version 6.5 สำหรับวิเคราะห์ข้อมูล

5.1.2 การจัดเก็บค่าท่ามือ

พัฒนาโปรแกรมต้นแบบในการจัดเก็บค่าท่ามือเพื่อนำไปใช้ในการทดลอง โปรแกรมจะบันทึกลักษณะท่ามือที่ถูกกำหนดขึ้น ประกอบด้วยข้อมูล 300 ชุดใน 1 รอบการจัดเก็บ โดยใน 1 ชุดข้อมูล จะประกอบด้วยค่าจากเซนเซอร์ของถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ (CyberGlove) จากนั้นนำชุดข้อมูลมาหาค่าเฉลี่ยจะได้ค่าท่ามือของผู้ใช้ เพื่อนำมาจัดเก็บไว้ในฐานข้อมูล

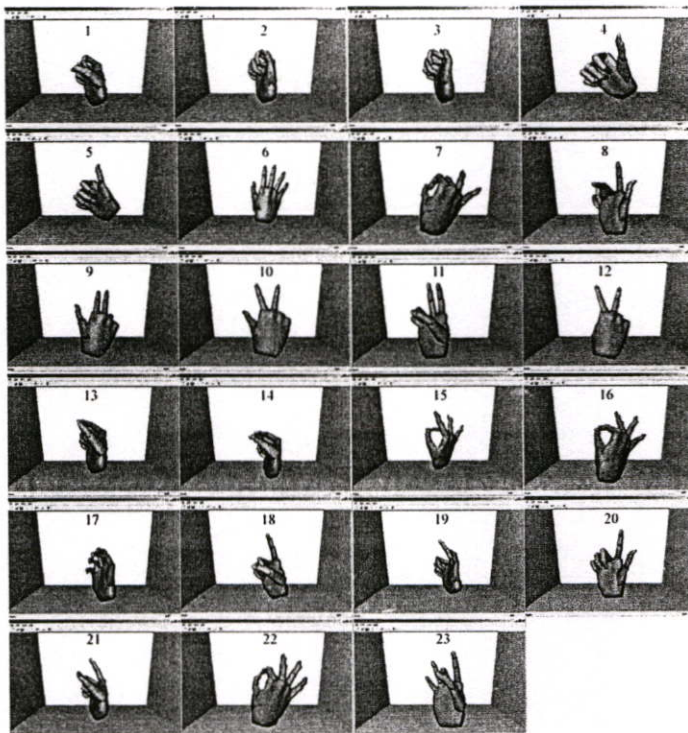
5.2 การทดลอง

การทดลองได้แบ่งออกเป็น 8 การทดลอง คือ การคัดเลือกท่ามือพื้นฐานที่เหมาะสมสำหรับการออกคำสั่ง ในงานสถานะแวดล้อมเสมือน การเปรียบเทียบการใช้งานในส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface) การเปรียบเทียบเทคนิคการปฏิสัมพันธ์ Light-Pointing การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีปรับเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุในแนวแกน z การเลือกวัตถุที่ถูกบังโดยใช้

เทคนิค Light-Pointing ร่วมกับท่ามือ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการจัดวางวัตถุในแนวแกน z โดยใช้เทคนิค Light-Pointing ร่วมกับท่ามือ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการจัดวางวัตถุในแนวแกน z ในลักษณะสุ่มตำแหน่งของกล่องสี่เหลี่ยมตามระยะ โดยใช้เทคนิค Light-Pointing ร่วมกับท่ามือ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการจัดวางวัตถุในลักษณะเชิงมุม และแกนอิสระ (freeform) โดยใช้เทคนิค Light-Pointing ร่วมกับท่ามือ ซึ่งมีรายละเอียดของการทดลองต่างๆ ดังนี้ คือ

5.2.1 การคัดเลือกท่ามือพื้นฐานที่เหมาะสม

เพื่อทำการคัดเลือกท่ามือพื้นฐานที่ประกอบด้วยนิ้วหัวแม่มือ นิ้วชี้ และนิ้วกลาง โดยท่ามือที่นำมาทำการทดลองเบื้องต้นมีท่ามือทั้งหมด 23 ท่า โดยสอดคล้องกับการใช้งานในชีวิตประจำวัน ดังรูปที่ 5.1 มีผู้ทำการทดลอง 7 คน ขั้นตอนมีดังนี้ ผู้ช้ถามใช้แบบสอบถามร่วมกับการให้ผู้ทำการทดลองทำท่ามือ และออกคำสั่งเพื่อหยิบจับวัตถุตามลำดับ เพื่อนำมาใช้ตอบแบบสอบถามในส่วนของระดับความเหมาะสมของท่ามือกับความหมายที่ใช้ในการออกคำสั่งขณะใช้งาน มี 5 ระดับ คือ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย น้อยที่สุด หลังจากนั้นใช้แต่ละท่ามือทำการเลือกวัตถุสลับกับการพักมือไว้บนโต๊ะ เพื่อนำมาใช้ตอบแบบสอบถามในส่วนของระดับความเมื่อยล้าที่เกิดจากการใช้งานในมี 5 ระดับ คือ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย น้อยที่สุด



รูปที่ 5.1 แสดงท่ามือ 23 ท่า ที่นำมาทำการทดลองเบื้องต้น เพื่อหาท่ามือพื้นฐานที่เหมาะสม และสอดคล้องกับการออกคำสั่ง ภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือน

ตารางที่ 5.1 แสดงเปอร์เซ็นต์ (%) ของระดับความเหมาะสมของท่ามือที่สอดคล้องกับการออกคำสั่งในแต่ละท่ามือจากแบบสอบถาม

| ท่ามือ | เปอร์เซ็นต์ (%) ของระดับความเหมาะสมของท่ามือที่สอดคล้องกับการออกคำสั่ง | | | | |
|--------|--|-------|---------|-------|------------|
| | มากที่สุด | มาก | ปานกลาง | น้อย | น้อยที่สุด |
| 1 | 71.43 | 28.57 | - | - | - |
| 2 | - | - | 42.86 | 57.14 | - |
| 3 | - | - | - | - | 100 |
| 4 | - | - | 14.29 | 42.86 | 42.86 |
| 5 | - | - | 28.57 | 28.57 | 42.86 |
| 6 | 100 | - | - | - | - |
| 7 | - | - | 42.86 | 14.29 | 42.86 |
| 8 | 14.29 | 14.29 | 57.14 | 14.29 | - |
| 9 | - | - | 28.57 | 42.86 | 28.57 |
| 10 | - | - | 42.86 | 42.86 | 14.29 |
| 11 | - | 14.29 | 57.14 | 28.57 | - |
| 12 | - | - | 28.57 | 57.14 | 14.29 |
| 13 | - | - | 42.86 | 42.86 | 14.29 |
| 14 | - | - | 28.57 | 42.86 | 28.57 |
| 15 | - | - | 28.57 | 42.86 | 28.57 |
| 16 | - | 14.29 | 42.86 | 28.57 | 14.29 |
| 17 | - | - | - | 14.29 | 85.71 |
| 18 | 100 | - | - | - | - |
| 19 | - | - | 28.57 | 28.57 | 42.86 |
| 20 | 28.57 | 71.43 | | | |
| 21 | - | - | 14.29 | 57.14 | 28.57 |
| 22 | - | - | 28.57 | 57.14 | 14.29 |
| 23 | - | - | - | 57.14 | 42.86 |

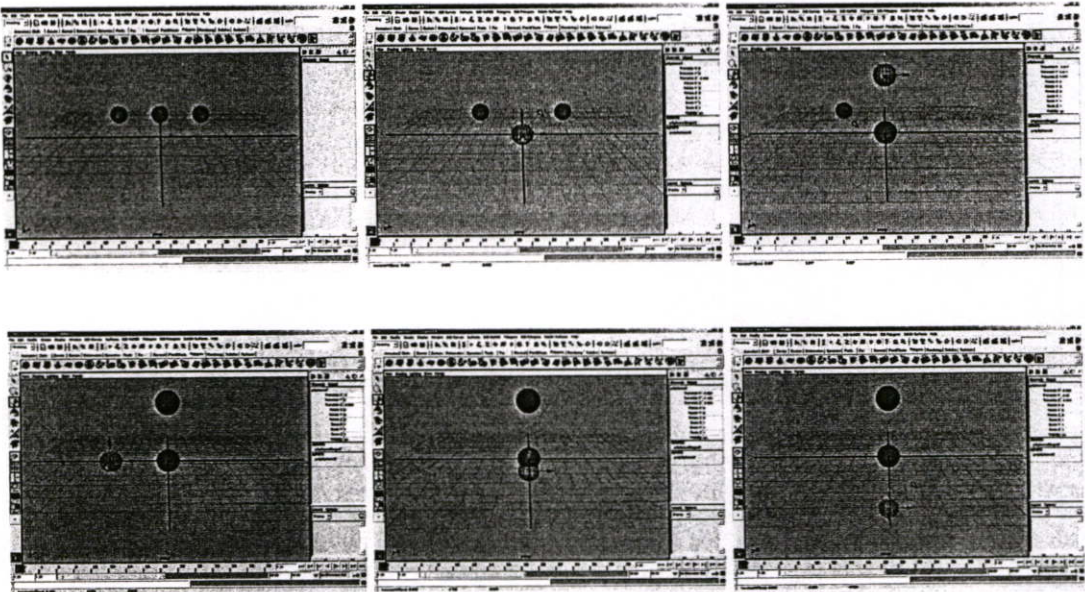
ตารางที่ 5.2 แสดงเปอร์เซ็นต์ (%) ของระดับความเมื่อยล้าในแต่ละท่ามือจากแบบสอบถาม

| ท่ามือ | เปอร์เซ็นต์ (%) ระดับความเมื่อยล้าในแต่ละท่ามือ | | | | |
|--------|---|-------|---------|-------|------------|
| | มากที่สุด | มาก | ปานกลาง | น้อย | น้อยที่สุด |
| 1 | - | - | - | 85.71 | 14.29 |
| 2 | - | - | 42.86 | 42.86 | 14.29 |
| 3 | 71.43 | 28.57 | - | - | - |
| 4 | - | - | 57.14 | 14.29 | 28.57 |
| 5 | 28.57 | 42.86 | - | 28.57 | - |
| 6 | - | - | - | - | 100 |
| 7 | 14.29 | 28.57 | 57.14 | - | - |
| 8 | - | 14.29 | 85.71 | - | - |
| 9 | - | 28.57 | 71.43 | - | - |
| 10 | 14.29 | 42.86 | 42.86 | - | - |
| 11 | - | 14.29 | 71.43 | 14.29 | - |
| 12 | - | - | 28.57 | 71.43 | - |
| 13 | - | - | 28.57 | 28.57 | 42.86 |
| 14 | - | - | 28.57 | 57.14 | 14.29 |
| 15 | - | 28.57 | 57.14 | 14.29 | - |
| 16 | - | 28.57 | 14.29 | 42.86 | 14.29 |
| 17 | 85.71 | - | 14.29 | - | - |
| 18 | - | - | 14.29 | 28.57 | 57.14 |
| 19 | - | 28.57 | 42.86 | 14.29 | 14.29 |
| 20 | - | 14.29 | 14.29 | 57.14 | 14.29 |
| 21 | - | 42.86 | 57.14 | - | - |
| 22 | - | - | 14.29 | 57.14 | 28.57 |
| 23 | - | 57.14 | 14.29 | 28.57 | - |

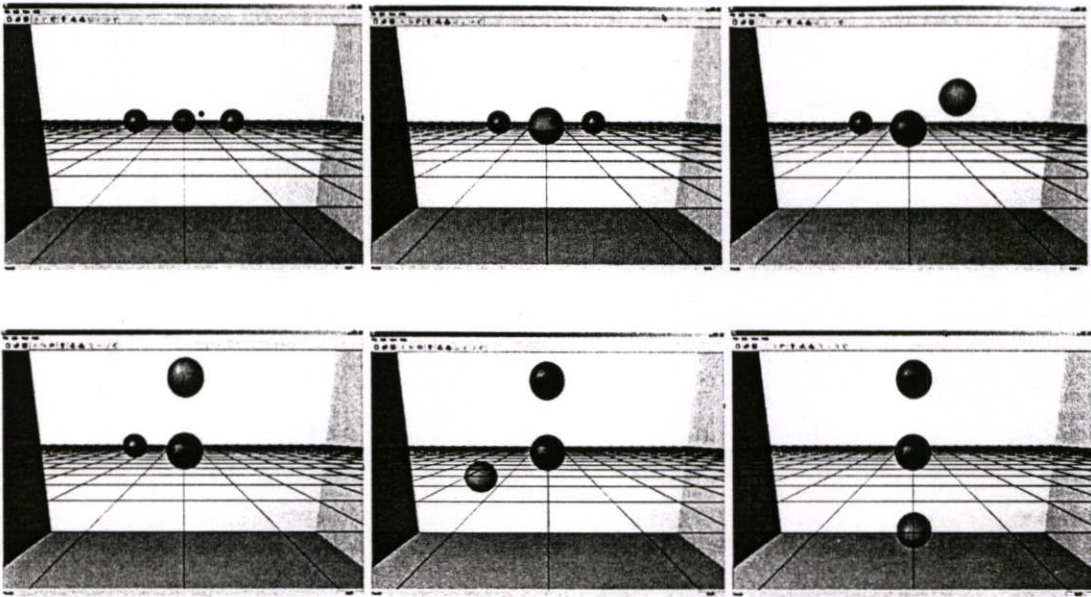
ผลจากการทดลองเบื้องต้นได้ตามตารางที่ 5.1 และ 5.2 โดยเกณฑ์ที่นำมาพิจารณาอยู่ในช่วงระดับความเมื่อยล้า น้อย น้อยที่สุด และช่วงระดับความเหมาะสมของท่ามือที่สอดคล้องกับการออกคำสั่ง มาก และมากที่สุด โดยท่ามือพื้นฐานที่ได้จากการทดลองเบื้องต้น ได้แก่ ท่ามือที่ 1, 6, 18 และ 20 ซึ่งแต่ละท่ามือสามารถกำหนดฟังก์ชันเพื่อให้สอดคล้องกับการนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับโปรแกรมต้นแบบ หรือเทคนิคการปฏิสัมพันธ์ได้

5.2.2 การเปรียบเทียบส่วนติดต่อกับผู้ใช้

สร้าง โปรแกรมต้นแบบภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือน เพื่อทำการทดลองเปรียบเทียบ ส่วนติดต่อกับผู้ใช้เพื่อควบคุมวัตถุภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือน ระหว่างโปรแกรมสร้างวัตถุ 3 มิติทั่วไป โดยมีอุปกรณ์ที่นำมาทำการทดลอง คือ เม้าส์ กับ โปรแกรมต้นแบบที่สร้างขึ้น โดยมี อุปกรณ์ที่นำมาทำการทดลอง ได้แก่ ถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ (CyberGlove) เพื่อใช้ทำมือในการออกคำสั่งควบคุมวัตถุภายใต้เงื่อนไขที่เหมือนกันทั้ง 2 โปรแกรม ดังนี้ คือ ลูกทรงกลม 3 ลูกเรียงอยู่ในแนวอนระนาบแกน x ในขั้นตอนแรกมีผู้ทำการทดลอง 5 คน แต่ละคนทำการเลือกลูกทรงกลมที่อยู่ตรงกลาง และปรับเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุทรงกลม เข้าหาผู้ทำการทดลองในแนวแกน z 10 เซนติเมตร ไปยังจุดตัดที่ทำเครื่องหมายไว้ ขั้นตอนที่สอง ผู้ทำการทดลองทำการเลือกลูกทรงกลมทางขวา และปรับเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุทรงกลม ให้อยู่บนลูกทรงกลมกลางในแนวระนาบแกน y ในส่วนขั้นตอนสุดท้าย ผู้ทำการทดลองทำการเลือกลูกทรงกลมทางซ้าย และปรับเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุทรงกลม ให้อยู่ใต้ลูกทรงกลมกลางในแนวระนาบแกน y ดังรูปที่ 5.2 และ 5.3



รูปที่ 5.2 แสดงการปฏิสัมพันธ์การเลือก และปรับเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุ กับ โปรแกรมสร้าง วัตถุ 3 มิติทั่วไปโดยใช้เม้าส์

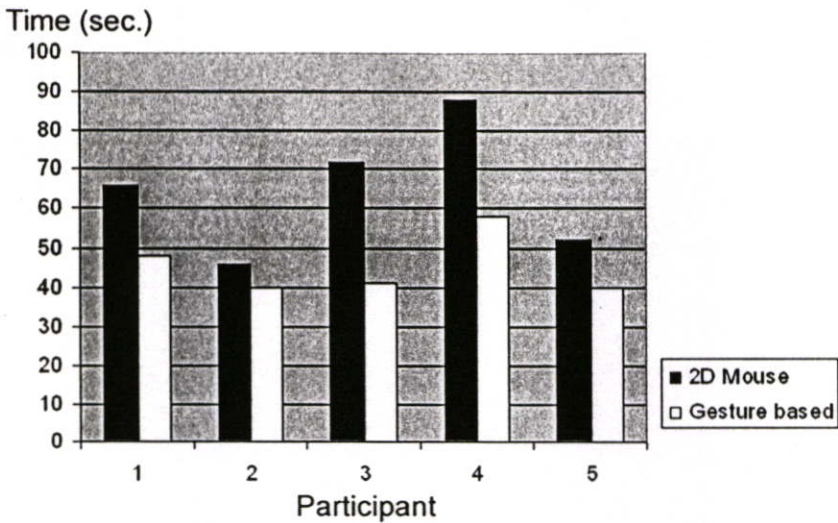


รูปที่ 5.3 แสดงการปฏิสัมพันธ์การเลือก และปรับเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุ กับโปรแกรมต้นแบบ โดยใช้ท่ามือ

ตารางที่ 5.3 แสดงเวลาเฉลี่ย(วินาที)จากการเลือก และปรับเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุ

| ผู้ทำการทดลองคนที่ | วิธีการและอุปกรณ์ | |
|--------------------|-------------------|--------|
| | เมาส์ | ท่ามือ |
| 1 | 67.12 | 48.05 |
| 2 | 46.75 | 39.87 |
| 3 | 72.12 | 42.14 |
| 4 | 88.46 | 58.79 |
| 5 | 52.30 | 39.70 |

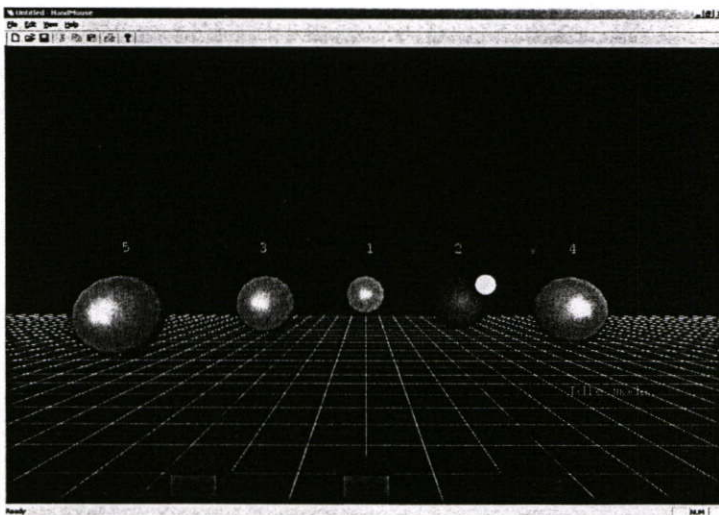
ผลจากการทดลอง การปฏิสัมพันธ์ภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือนระหว่างโปรแกรมต้นแบบ และโปรแกรมสร้างวัตถุ 3 มิติทั่วไป พบว่าการประยุกต์ใช้ท่ามือพื้นฐานที่มีลักษณะที่เป็นธรรมชาติในการใช้งาน และสอดคล้องกับการออกคำสั่งของโปรแกรม เช่น การหยิบจับ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน โดยลดขั้นตอนในส่วน โหมคการกระทำปรับเปลี่ยนวัตถุ โดยผู้ใช้สามารถเข้าใจการทำงานโดยไม่จำเป็นต้องฝึกฝน และลดระยะเวลาในการทำงานได้ระดับหนึ่ง เมื่อเทียบกับการติดต่อกับผู้ใช้โดยใช้เมาส์ ดังรูปที่ 5.4



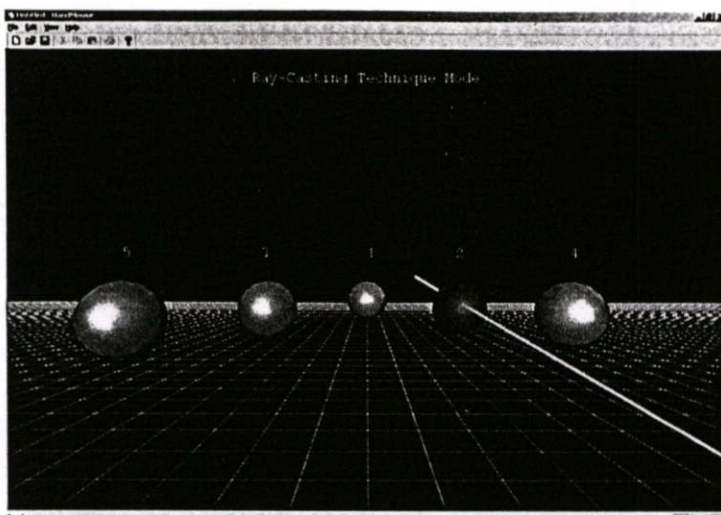
รูปที่ 5.4 แสดงค่าเฉลี่ยของเวลาระหว่างการใช้เมาส์กับท่ามือ

5.2.3 การเปรียบเทียบเทคนิคการปฏิสัมพันธ์

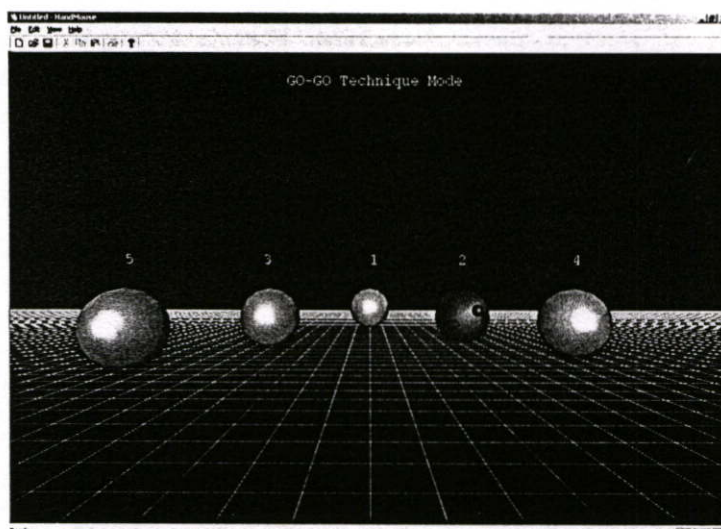
เป็นการทดสอบประสิทธิภาพในการเลือกวัตถุ โดยนำเทคนิคการปฏิสัมพันธ์มาทดสอบ ได้แก่ เทคนิค GO-GO, เทคนิค Ray-Casting และเทคนิค Light-Pointing ภายใต้เงื่อนไข ดังนี้ นำผู้ทำการทดลอง 6 คน ทำการทดลองการปฏิสัมพันธ์การเลือกลูกทรงกลม 5 ลูก ขนาดเท่ากัน วางเรียงในแนวระนาบแกน x ห่างกัน ลูกละ 5 เซนติเมตร และในแนวระนาบแกน y ระยะเท่ากัน แต่มีความลึกต่างกัน โดยมีมุมมองแบบภาพเดี่ยว ซึ่งอยู่ภายใต้สภาวะแวดล้อมเดียวกัน ให้ผู้ทำการทดลองยืนห่างจากหน้าจอแสดงผล 100 เซนติเมตร ทำการเลือกลูกทรงกลม โดยมีลำดับการเลือกเป็นตัวเลขปรากฏอยู่บนลูกทรงกลมแบบสุ่มตามลำดับ ดังรูปที่ 5.5, 5.6 และ 5.7



รูปที่ 5.5 แสดงเทคนิค Light-Pointing



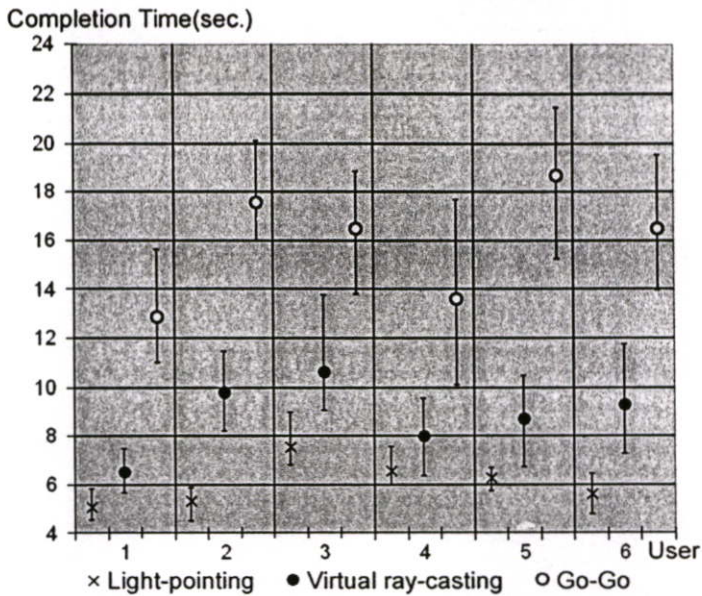
รูปที่ 5.6 แสดงเทคนิค Ray-Casting



รูปที่ 5.7 แสดงเทคนิค GO-GO

ตารางที่ 5.4 แสดงเวลาเฉลี่ย(วินาที)จากการเลือกวัตถุ โดยใช้เทคนิคการปฏิสัมพันธ์ต่างๆ

| ผู้ทำการทดลอง คนที่ | เทคนิค Light-Pointing | เทคนิค Ray-Casting | เทคนิค GO-GO |
|------------------------|-----------------------|--------------------|--------------|
| 1 | 5.01 | 6.50 | 12.80 |
| 2 | 5.28 | 9.74 | 17.51 |
| 3 | 7.53 | 10.59 | 16.46 |
| 4 | 6.50 | 7.98 | 13.54 |
| 5 | 6.29 | 8.68 | 18.66 |
| 6 | 5.69 | 9.24 | 16.43 |

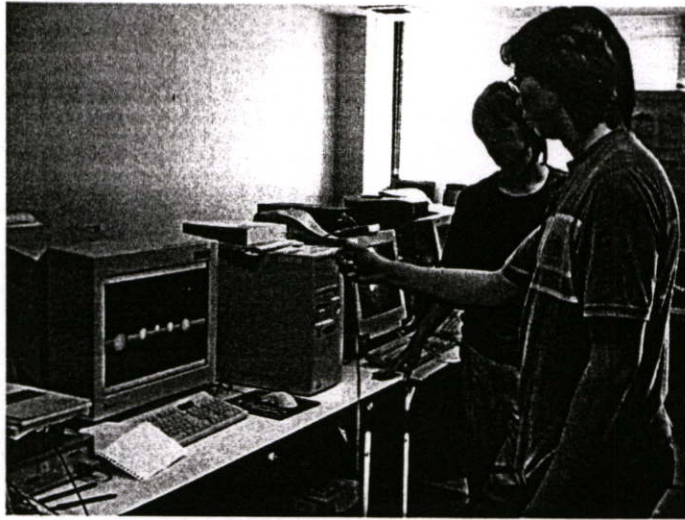


รูปที่ 5.8 แสดงค่าเฉลี่ยของเวลาในการเลือกวัตถุ โดยใช้เทคนิคการปฏิสัมพันธ์แต่ละเทคนิค

ผลจากการทดลอง จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิคการปฏิสัมพันธ์พื้นฐาน ได้แก่ เทคนิค GO-GO และเทคนิค Ray-Casting กับเทคนิค Light-Pointing ที่ได้พัฒนาขึ้น เพื่อประยุกต์ใช้กับมุมมองแบบมุมมองภาพเดี่ยว พบว่าเมื่อผู้ใช้นำเทคนิค Light-Pointing มาประยุกต์ใช้สามารถลดระยะเวลาการเลือกวัตถุได้ในระดับหนึ่ง ดังรูปที่ 5.8

5.2.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีปรับเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุในแนวแกน z

เป็นการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุในแนวแกน z โดยใช้เทคนิค Light-Pointing ซึ่งมีด้วยกัน 3 วิธี คือ วิธีที่ใช้ระยะเป็นสัดส่วนคงที่ (1:1), วิธีที่ใช้แบบกระจกเงา (1:2) และวิธีที่ใช้ระยะเป็นสัดส่วนคงที่ (1:2) ซึ่งแต่ละวิธีมีระยะทำการหนึ่งช่วงแกน ภายใต้เงื่อนไขดังนี้ ผู้ทำการทดลองถืออุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งแบบ 6 แกนไว้ที่มือขวา ถือในลักษณะเหมือนกับการใช้อุปกรณ์ชี้ด้วยแสงเลเซอร์ และถือเมาส์ไว้ที่มือซ้ายในลักษณะนี้มือพร้อมกดปุ่มเมาส์ขวาเพื่อส่งคำสั่งในการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุทรงกลม โดยที่ผู้ทำการทดลองยืนอยู่หน้าจอภาพ ระยะห่าง 100 เซนติเมตร และลูกทรงกลมซึ่งมีระยะห่างจากจุดมองภาพในแนวแกน z คือ -40 เซนติเมตร ให้ผู้ทำการทดลองทำการเลือก และปรับเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุทรงกลมในแนวแกน z ไปยังตำแหน่งที่ 16, -30 และ -0.5 เซนติเมตร ในแต่ละตำแหน่งจะมีเส้นบอกระยะ และขนาดของวัตถุ เพื่อง่ายต่อการทดลอง การปรับเปลี่ยนตำแหน่งทำได้ โดยเมื่อจุดลำแสงจำลองมีสถานะชนกับวัตถุ ซึ่งสถานะดังกล่าวหมายถึงวัตถุนั้นถูกเลือก ให้ผู้ทำการทดลองกดปุ่มขวาของเมาส์เพื่อทำการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุทรงกลมในแนวแกน



รูปที่ 5.9 แสดงภาพขณะทำการทดลองเทคนิค Light-Pointing

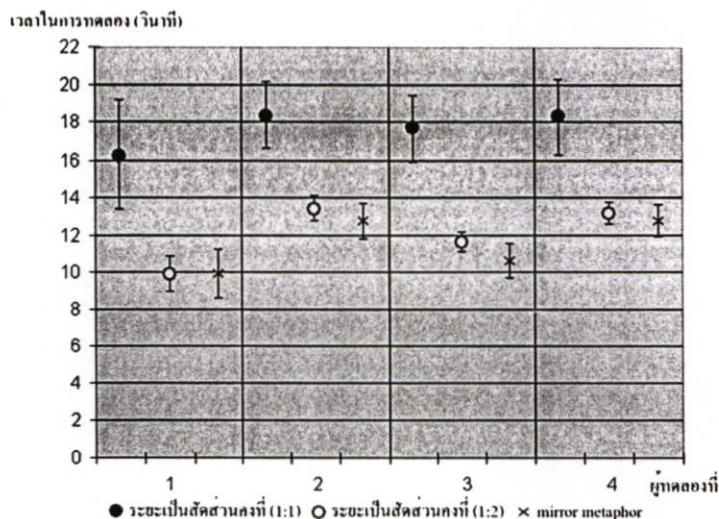
ตารางที่ 5.5 แสดงเวลาเฉลี่ย(วินาที)การปรับเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุในแนวแกน z

| ผู้ทำการทดลองคนที่ | วิธีที่ 1 ระยะเป็นสัดส่วนคงที่ (1:1) | วิธีที่ 2 แบบอาศัย mirror metaphor (1:2) | วิธีที่ 3 ระยะเป็นสัดส่วนคงที่ (1:2) |
|--------------------|--|--|--|
| 1 | 16.25 | 9.90 | 9.90 |
| 2 | 18.35 | 13.40 | 12.75 |
| 3 | 17.65 | 11.65 | 10.60 |
| 4 | 18.25 | 13.15 | 12.75 |

ผลจากการทดลอง การเปรียบเทียบวิธีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุในแนวแกน z ของเทคนิคการปฏิบัติสัมพันธ์วิธีที่ 1 คือ ระยะเป็นสัดส่วนคงที่ ภายใต้เงื่อนไขของการจำกัดในระยะเวลาทำการภายในหนึ่งช่วงแขน ทำให้การบังคับวัตถุในแนวแกน z จากมุมมองของผู้ทำการทดลองมีการตอบสนองที่น้อยกว่าวิธีอื่น วิธีที่ 2 แบบกระจกเงา (1:2) คือ เมื่อทิศทางของมือผู้ทำการทดลองเข้าหาจอภาพ วัตถุในจอภาพจะเข้ามาหาผู้ทำการทดลอง และเมื่อทิศทางของมือผู้ทำการทดลองออกห่างจากจอภาพ วัตถุในจอภาพจะออกห่างจากผู้ทำการทดลองภายใต้เงื่อนไขระยะเวลาทำการภายในหนึ่งช่วงแขน จากการสังเกต ผู้ทำการทดลองขณะใช้วิธีที่สอง การทำงานมีลักษณะตรงกันข้ามกับทิศทางการเคลื่อนที่ของมือในแนวแกน z ทำให้ใช้งานได้ลำบากเนื่องจากรูปแบบไม่เป็นธรรมชาติ

วิธีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุในแนวแกน z ของเทคนิคการปฏิบัติสัมพันธ์ Light-Pointing พบว่าวิธีที่ 3 คือ การปรับเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุในแนวแกน z แบบระยะเป็นสัดส่วน

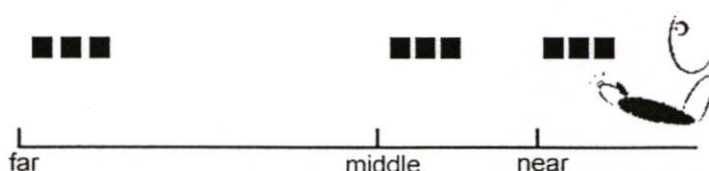
คงที่ (1:2) สามารถลดระยะเวลาในการทำงานได้ และมีการตอบสนองที่ดีกว่าวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 ดังรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.10 แสดงค่าเวลาเฉลี่ยในการปรับเปลี่ยนวัตถุในแนวแกน z

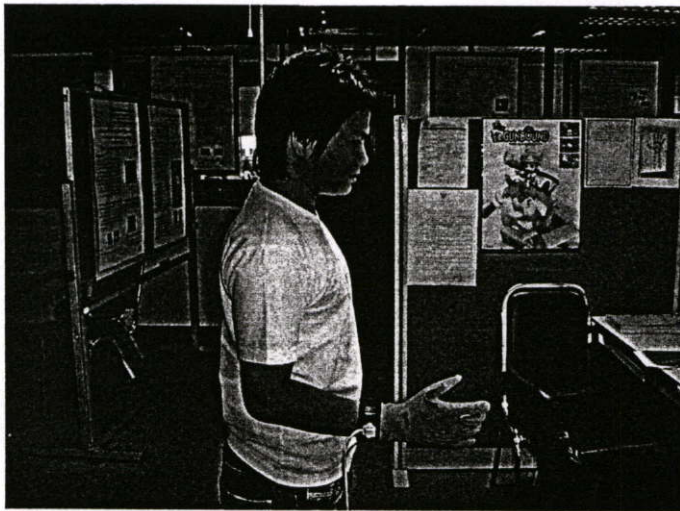
5.2.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการจัดวางวัตถุในแนวแกน z ในลักษณะสัมพันธ์ตำแหน่งของกล่องสี่เหลี่ยมตามระยะ โดยใช้เทคนิค Light-Pointing ร่วมกับท่ามือ

เป็นการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการการจัดวางวัตถุ ในลักษณะสัมพันธ์ตำแหน่งของกล่องสี่เหลี่ยมตามระยะ โดยใช้เทคนิค Light-Pointing ร่วมกับท่ามือ เงื่อนไขในการทดลองมีดังนี้ ผู้ทำการทดลอง 5 คน ทำการเลือก และจัดวางวัตถุทรงกลมใส่กล่องสี่เหลี่ยมตามระยะ โดยแบ่งช่วงระยะของกล่องสี่เหลี่ยม มีดังนี้คือ ระยะใกล้ ระยะกลาง และระยะไกล ลักษณะของตำแหน่งการจัดวางกล่องสี่เหลี่ยมเป็นการสุ่มในระยะของช่วงแขน ในแต่ละระยะอธิบายดังนี้คือ ระยะใกล้เท่ากับ 1 ช่วงแขนเมื่อใช้ระยะเป็นสัดส่วนคงที่แบบ (1:1) ระยะกลางเท่ากับ 1 ช่วงแขนเมื่อใช้ระยะเป็นสัดส่วนคงที่แบบ (1:2) และระยะไกลเท่ากับ 1 ช่วงแขนเมื่อใช้ระยะแบบ non-linear โดยตำแหน่งกล่องสี่เหลี่ยมจะใช้ระยะภายใน 1 ช่วงแขนในแต่ละระยะเป็นเกณฑ์ และสัมพันธ์ตำแหน่งออกเป็น 3 ระยะคือ ระยะใกล้ ระยะกลาง ระยะใกล้ แสดงดังรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.11 แสดงระยะสัมพันธ์ของตำแหน่งกล่องสี่เหลี่ยมในแต่ละระยะที่ทำการทดลอง

ผู้ทำการทดลองใช้จุดแสงชี้วัตถุ และวางข้อศอก และมีอยู่ตำแหน่งข้างลำตัวในท่าพร้อมยึดแขนออก ดังรูปที่ 5.12 จากนั้นใช้ท่าหุบจับวัตถุ พร้อมกับยึดแขนออกเพื่อนำวัตถุไปยังตำแหน่งของกล่องสี่เหลี่ยมตามแต่ละระยะ กล่องสี่เหลี่ยมดังกล่าวมีด้วยกัน 2 กล่อง ซ้อนอยู่ ณ ตำแหน่งเดียวกันมี 2 ขนาด ดังนี้ กล่องสี่เหลี่ยมขนาดใหญ่มีหน้าที่วัดระยะของวัตถุ ว่าอยู่ภายในรัศมีของกล่องสี่เหลี่ยมหรือไม่ โดยไม่คำนึงถึงความแม่นยำในการวาง และอยู่ในกล่องสี่เหลี่ยมขนาดเล็ก ส่วนกล่องสี่เหลี่ยมขนาดเล็กมีหน้าที่วัดความแม่นยำในการวาง โดยคำนึงถึงวัตถุต้องอยู่ในกล่องสี่เหลี่ยมขนาดเล็กพอดี



รูปที่ 5.12 แสดงภาพขณะผู้ทำการทดลองตั้งจุดแสงชี้วัตถุ โดยที่วางข้อศอก และมีอยู่ตำแหน่งข้างลำตัวในท่าพร้อมยึดแขนออก

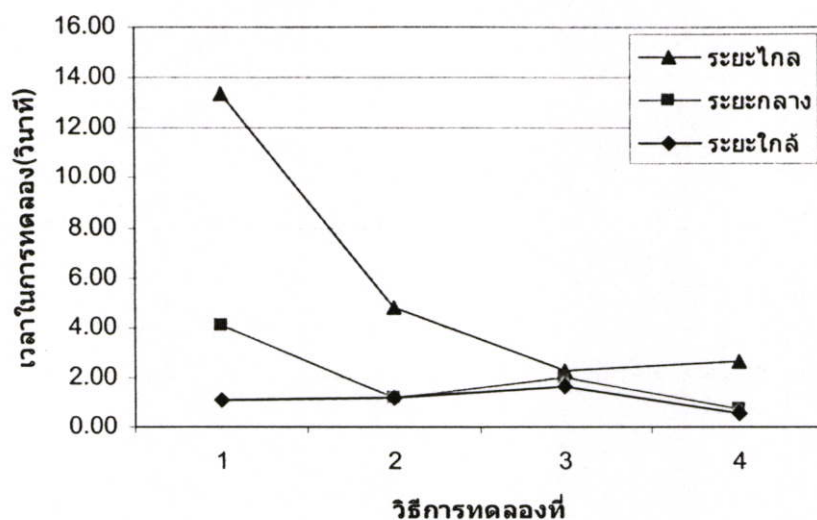
การจับเวลาแบ่งออกเป็น 2 ช่วง ช่วงแรกจับเวลาตั้งแต่ผู้ทำการทดลองหุบจับวัตถุ จนกระทั่งวัตถุอยู่ภายในรัศมีของกล่องสี่เหลี่ยมขนาดใหญ่ โดยที่กล่องสี่เหลี่ยมจะเปลี่ยนสีเป็นสีเขียว ช่วงที่สองเริ่มจับเวลาหลังจากวัตถุอยู่ภายในรัศมีกล่องสี่เหลี่ยมขนาดใหญ่จนกระทั่งจัดวางวัตถุลงกล่องสี่เหลี่ยมขนาดเล็กพอดี โดยที่กล่องสี่เหลี่ยมขนาดเล็กจะเปลี่ยนสีเป็นสีแดง ทำการทดลองแต่ละวิธีกับแต่ละช่วงระยะของกล่องสี่เหลี่ยม ดังตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 แสดงช่วงเวลาเฉลี่ยตั้งแต่เริ่มต้นหยิบจับวัตถุจนกระทั่งวัตถุอยู่ในรัศมีของกล่องสี่เหลี่ยมขนาดใหญ่ และช่วงเวลาเฉลี่ยตั้งแต่วัตถุอยู่ในรัศมีของกล่องสี่เหลี่ยมขนาดใหญ่จนกระทั่งเข้ากล่องสี่เหลี่ยมขนาดเล็กพอดี

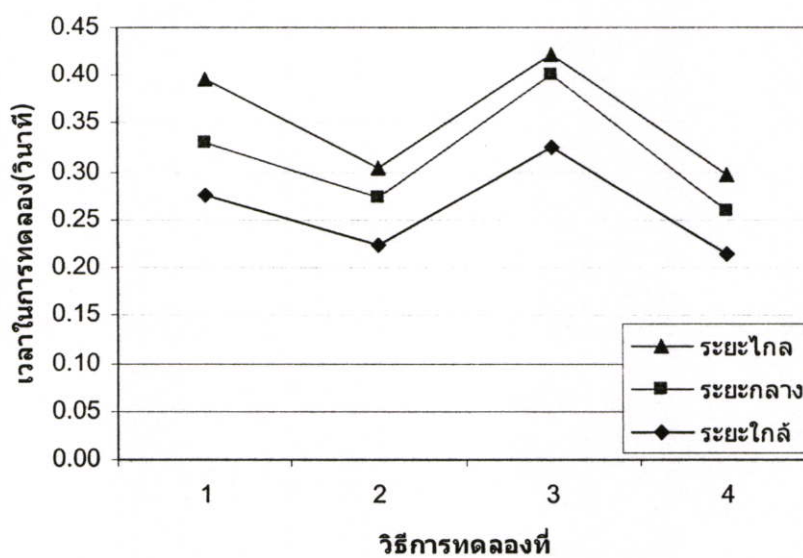
| การทดลอง | ช่วงเวลาเฉลี่ยของตำแหน่งที่ | ระยะใกล้ | ระยะกลาง | ระยะไกล |
|---|-----------------------------|----------|----------|---------|
| วิธีที่ 1 ระยะเป็นสัดส่วนคงที่แบบ (1:1) | 1 | 1.07 | 4.07 | 13.30 |
| | 2 | 0.27 | 0.33 | 0.40 |
| | ค่าเฉลี่ยรวม | 1.34 | 4.40 | 13.70 |
| วิธีที่ 2 ระยะเป็นสัดส่วนคงที่แบบ (1:2) | 1 | 1.20 | 1.23 | 4.87 |
| | 2 | 0.23 | 0.27 | 0.30 |
| | ค่าเฉลี่ยรวม | 1.43 | 1.50 | 5.17 |
| วิธีที่ 3 ระยะแบบ non-linear | 1 | 1.67 | 2.07 | 2.30 |
| | 2 | 0.33 | 0.40 | 0.43 |
| | ค่าเฉลี่ยรวม | 2.00 | 2.47 | 2.73 |
| วิธีที่ 4 ระยะแบบ one-way screwdriver metaphor (1:2) | 1 | 0.53 | 0.73 | 2.60 |
| | 2 | 0.23 | 0.26 | 0.30 |
| | ค่าเฉลี่ยรวม | 0.76 | 0.99 | 2.90 |

หมายเหตุ ช่วงเวลาของตำแหน่งที่ 1 คือ ช่วงเวลาเริ่มต้นจนกระทั่งวัตถุอยู่ในรัศมีของกล่องสี่เหลี่ยมขนาดใหญ่

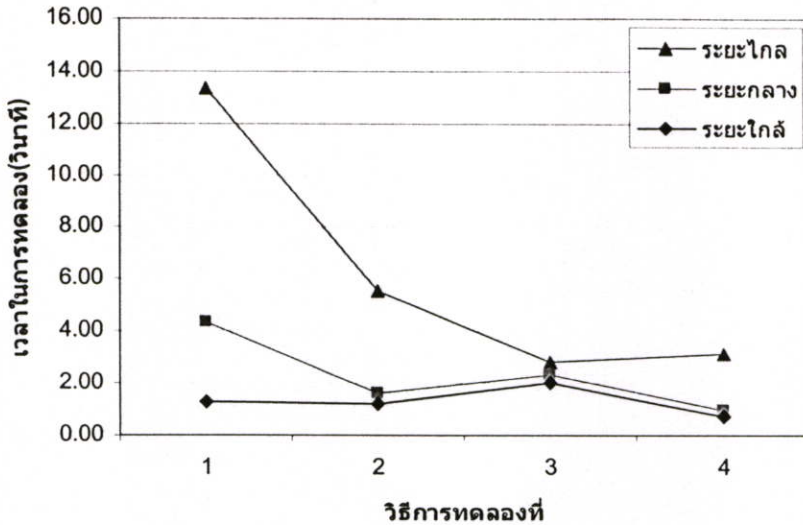
ช่วงเวลาของตำแหน่งที่ 2 คือ ช่วงเวลาตั้งแต่วัตถุอยู่ในรัศมีของกล่องสี่เหลี่ยมขนาดใหญ่จนกระทั่งเข้ากล่องสี่เหลี่ยมขนาดเล็กพอดี



รูปที่ 5.13 แสดงค่าเฉลี่ยรวมของเวลาในแต่ละระยะตั้งแต่เริ่มต้นหีบจับวัตถุจนกระทั่งวัตถุอยู่ภายในรัศมีของกล่องสี่เหลี่ยมขนาดใหญ่ในแต่ละระยะ



รูปที่ 5.14 แสดงค่าเฉลี่ยรวมของเวลาในแต่ละระยะตั้งแต่วัตถุอยู่ภายในรัศมีของกล่องสี่เหลี่ยมขนาดใหญ่จนกระทั่งเข้ากล่องสี่เหลี่ยมขนาดเล็กพอดีในแต่ละระยะ

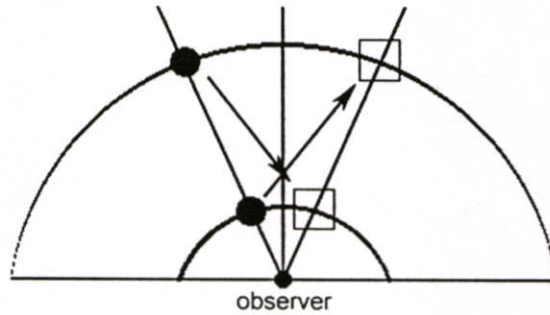


รูปที่ 5.15 แสดงค่าเฉลี่ยรวมของเวลาทั้งหมดตั้งแต่เริ่มต้นหยิบจับวัตถุจนกระทั่งเข้ากล่องสี่เหลี่ยมขนาดเล็กพอดี

ผลจากการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการจัดวางวัตถุในแนวแกน z ในลักษณะสุ่มตำแหน่งของกล่องสี่เหลี่ยมตามระยะ โดยใช้เทคนิค Light-Pointing ร่วมกับทำมือ จากรูปที่ 5.13 วิธีที่ 3 ระยะแบบ non-linear มีการตอบสนองในระยะไกลที่ดีกว่าวิธีอื่น วิธีที่ 4 ระยะแบบ one-way screwdriver metaphor (1:2) มีการตอบสนองในระยะใกล้ และระยะกลางที่ดีกว่าวิธีอื่น เมื่อพิจารณาเวลาในการจัดวางวัตถุเพื่อให้อยู่ในกล่องสี่เหลี่ยมขนาดเล็กพอดี พบว่าวิธีที่ 4 ใช้ระยะเวลาน้อยกว่าวิธีอื่น แสดงดังรูปที่ 5.14

5.2.6 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการจัดวางวัตถุในลักษณะเชิงมุมและแกนอิสระ (freeform) โดยใช้เทคนิค Light-Pointing ร่วมกับทำมือ

เป็นการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการการจัดวางวัตถุในลักษณะเชิงมุมและแกนอิสระ (freeform) โดยใช้เทคนิค Light-Pointing ร่วมกับทำมือ ภายใต้เงื่อนไขดังนี้ การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงแรกวัตถุอยู่ระยะใกล้ห่าง 1 ช่วงแขนระยะเป็นสัดส่วนคงที่แบบ (1:1) ตำแหน่ง 112.5 องศา ในขณะที่กล่องสี่เหลี่ยมอยู่ระยะไกลห่าง 1 ช่วงแขนระยะแบบ non-linear ตำแหน่ง 67.5 องศา ช่วงที่สองวัตถุอยู่ระยะไกลห่าง 1 ช่วงแขนระยะแบบ non-linear ตำแหน่ง 112.5 องศา ในขณะที่กล่องสี่เหลี่ยมอยู่ระยะใกล้ห่าง 1 ช่วงแขนระยะเป็นสัดส่วนคงที่แบบ (1:1) ตำแหน่ง 67.5 องศา ดังรูปที่ 5.14 นำวิธีการจัดวางวัตถุทั้ง 4 วิธีจากการทดลองที่ 5.2.2 มาทำการทดลอง วิธีที่ 4 จำเป็นต้องอาศัยการปรับเปลี่ยนโหมดโดยใช้ทำมือที่ 1 และทำมือที่ 20 ต่อเนื่องในการเปลี่ยนแกนอ้างอิงแกน z เพื่อให้วิธีที่ 4 ทำงานในลักษณะแกนอิสระ (freeform) ได้



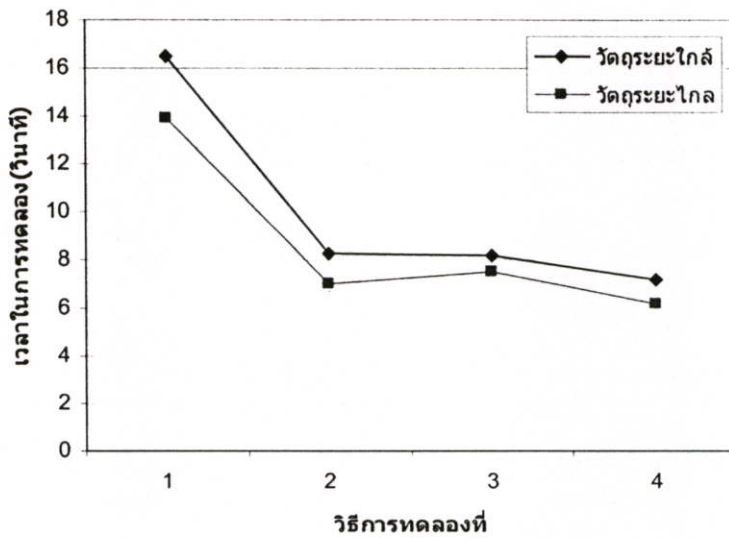
รูปที่ 5.16 แสดงตำแหน่งวัตถุ และกล่องสี่เหลี่ยมแต่ละช่วง เพื่อทำการทดลองในลักษณะเชิงมุมกับแกนอิสระ

ตารางที่ 5.7 แสดงช่วงเวลาเฉลี่ยตั้งแต่เริ่มต้นหยิบจับวัตถุจนกระทั่งวัตถุอยู่ในรัศมีของกล่องสี่เหลี่ยมขนาดใหญ่ และช่วงเวลาเฉลี่ยตั้งแต่วัตถุอยู่ในรัศมีของกล่องสี่เหลี่ยมขนาดใหญ่จนกระทั่งเข้ากล่องสี่เหลี่ยมขนาดเล็กพอดี

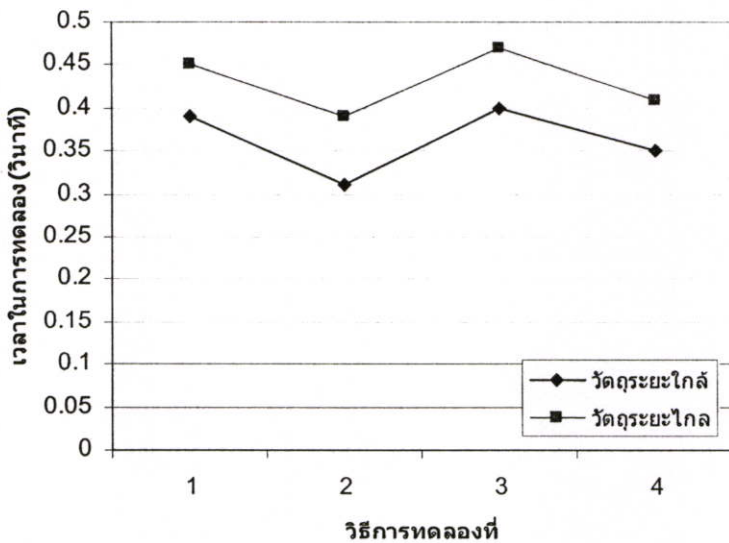
| การทดลอง | ช่วงเวลาเฉลี่ยของตำแหน่งที่ | ระยะใกล้ | ระยะไกล |
|---|-----------------------------|----------|---------|
| วิธีที่ 1 ระยะเป็นสัดส่วนคงที่แบบ (1:1) | 1 | 29.20 | 24.50 |
| | 2 | 0.35 | 0.30 |
| | ค่าเฉลี่ยรวม | 29.50 | 24.80 |
| วิธีที่ 2 ระยะเป็นสัดส่วนคงที่แบบ (1:2) | 1 | 13.30 | 11.20 |
| | 2 | 0.27 | 0.25 |
| | ค่าเฉลี่ยรวม | 13.55 | 11.45 |
| วิธีที่ 3 ระยะแบบ non-linear | 1 | 10.57 | 9.90 |
| | 2 | 0.30 | 0.30 |
| | ค่าเฉลี่ยรวม | 10.90 | 10.20 |
| วิธีที่ 4 ระยะแบบ one-way screwdriver metaphor (1:2) | 1 | 8.55 | 8.05 |
| | 2 | 0.28 | 0.26 |
| | ค่าเฉลี่ยรวม | 8.83 | 8.31 |

หมายเหตุ ช่วงเวลาของตำแหน่งที่ 1 คือ ช่วงเวลาเริ่มต้นจนกระทั่งวัตถุอยู่ในรัศมีของกล่องสี่เหลี่ยมขนาดใหญ่

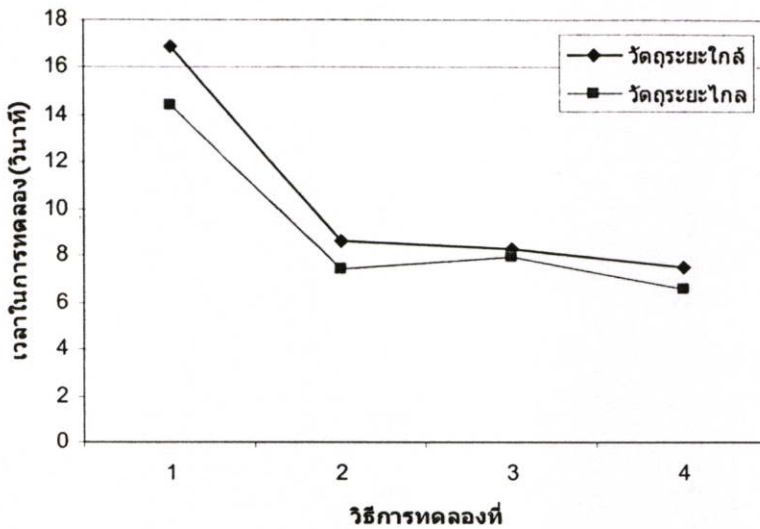
ช่วงเวลาของตำแหน่งที่ 2 คือ ช่วงเวลาตั้งแต่วัตถุอยู่ในรัศมีของกล่องสี่เหลี่ยมขนาดใหญ่จนกระทั่งเข้ากล่องสี่เหลี่ยมขนาดเล็กพอดี



รูปที่ 5.17 แสดงค่าเฉลี่ยรวมของเวลาในแต่ละระยะตั้งแต่เริ่มต้นหีบจับวัตถุจนกระทั่งวัตถุอยู่ภายในรัศมีของกล่องสี่เหลี่ยมขนาดใหญ่ในแต่ละระยะ



รูปที่ 5.18 แสดงค่าเฉลี่ยรวมของเวลาในแต่ละระยะตั้งแต่วัตถุอยู่ภายในรัศมีของกล่องสี่เหลี่ยมขนาดใหญ่ จนกระทั่งเข้ากล่องสี่เหลี่ยมขนาดเล็กพอดีในแต่ละระยะ



รูปที่ 5.19 แสดงค่าเฉลี่ยรวมของเวลาทั้งหมดตั้งแต่เริ่มต้นหยิบจับวัตถุจนกระทั่งเข้ากล่องสี่เหลี่ยมขนาดเล็กพอดี

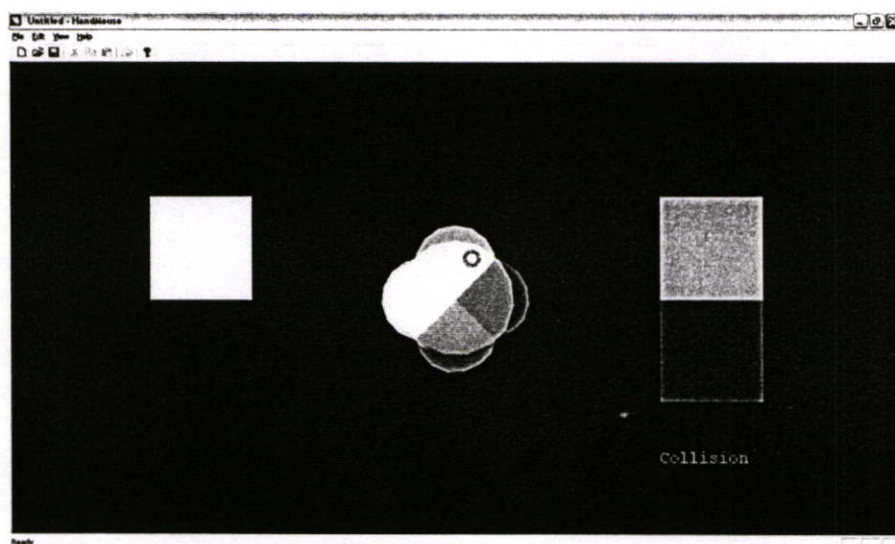
ผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการการจัดวางวัตถุในลักษณะเชิงมุมและแกนอิสระ (freeform) โดยใช้เทคนิค Light-Pointing ร่วมกับท่ามือ ได้ดังนี้ จากรูปที่ 5.23 แสดงให้เห็นว่าวิธีที่ 4 ระยะเวลาในการเข้าถึงภายในรัศมีกล่องสี่เหลี่ยมขนาดใหญ่ น้อยกว่าวิธีอื่น และจากรูปที่ 5.24 แสดงให้เห็นว่าวิธีที่ 2 ระยะเวลาในการจัดวางวัตถุให้อยู่ในกล่องสี่เหลี่ยมขนาดเล็กพอดี น้อยกว่าวิธีอื่น จากค่าเฉลี่ยของเวลาโดยรวมสรุปได้ว่า วิธีที่ 4 ใช้ระยะเวลาดังแต่เริ่มต้นหยิบจับวัตถุจนกระทั่งเข้ากล่องสี่เหลี่ยมขนาดเล็กพอดี น้อยกว่าวิธีอื่น

5.2.7 การทดลองเลือกวัตถุที่ถูกบังโดยใช้เทคนิค Light-Pointing ร่วมกับท่ามือ

เป็นการทดลองการเลือก และหยิบจับวัตถุ โดยใช้เทคนิค Light-Pointing ร่วมกับท่ามือ เพื่อออกคำสั่ง ได้แก่ คำสั่งเลือก คำสั่งหยิบจับ คำสั่งทำให้วัตถุโปร่งใส และคำสั่งหยิบจับวัตถุที่อยู่หลังวัตถุโปร่งใส มีเงื่อนไขดังนี้ ผู้ทำการทดลอง 5 คน ทำการเลือก และหยิบจับวัตถุทรงกลมแบ่งออกเป็น 2 วิธี วิธีแรก ใช้จุดแสงซึ่งส่วนเกินขนาด 25% ของวัตถุสีต่างๆ ที่อยู่ด้านหลังวัตถุทรงกลมสีขาว แล้วใช้ท่ามือหยิบจับวัตถุ ตามลำดับดังนี้ วัตถุทรงกลมสีเขียววางไว้ที่ตำแหน่งพื้นที่สี่เหลี่ยมสีเขียว วัตถุทรงกลมสีน้ำเงินวางไว้ที่ตำแหน่งพื้นที่สี่เหลี่ยมสีน้ำเงิน วัตถุทรงกลมสีแดงวางไว้ที่ตำแหน่งพื้นที่สี่เหลี่ยมสีแดง วัตถุทรงกลมสีเหลืองวางไว้ที่ตำแหน่งพื้นที่สี่เหลี่ยมสีเหลือง วิธีที่สอง ใช้เทคนิค Light-Pointing ซึ่งวัตถุทรงกลมสีขาว จากนั้นใช้ท่ามือออกคำสั่งให้วัตถุโปร่งใส และท่ามือหยิบจับวัตถุที่อยู่หลังวัตถุโปร่งใส นำไปวางตามเงื่อนไขวิธีแรก

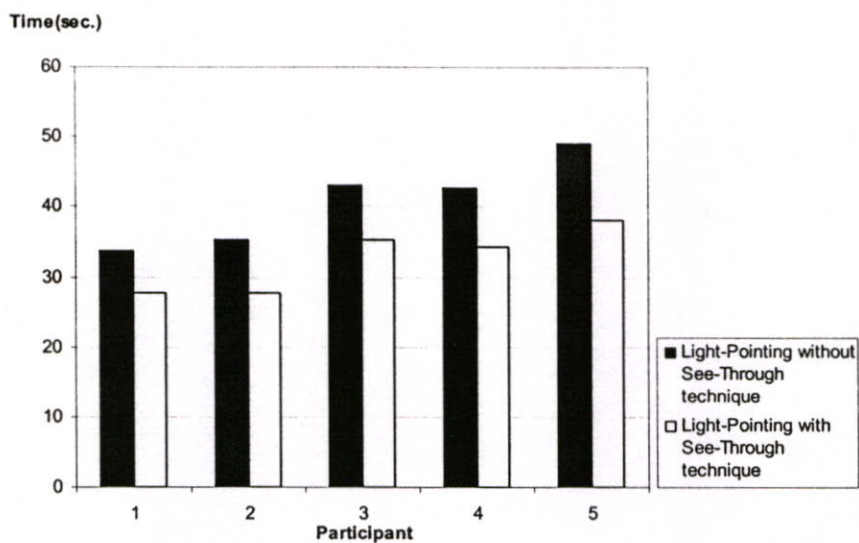
ตารางที่ 5.8 แสดงเวลาเฉลี่ย(วินาที) ในการเลือก และหยิบจับวัตถุที่ถูกบัง

| ผู้ทำการทดลองคนที่ | เทคนิค Light-Pointing อย่างเดียว | เทคนิค Light-Pointing ร่วมกับ เทคนิค See-Through |
|--------------------|-------------------------------------|---|
| 1 | 33.70 | 27.74 |
| 2 | 35.26 | 27.70 |
| 3 | 43.02 | 35.20 |
| 4 | 42.60 | 34.34 |
| 5 | 49.00 | 38.07 |



รูปที่ 5.20 แสดงภาพหน้าจอ โปรแกรมขณะใช้ท่ามือออกคำสั่งให้วัตถุทรงกลมสีขาวกลางจอภาพ
โปร่งใสเพื่อเลือกวัตถุทรงกลมด้านหลัง

ผลจากการทดลอง การเลือก และหยิบจับวัตถุ โดยใช้เทคนิค Light-Pointing ร่วมกับท่ามือเพื่อ
ออกคำสั่ง ภายใต้เงื่อนไขการเลือก และหยิบจับวัตถุที่ถูกบัง ผลที่ได้ คือ วิธีที่ใช้เทคนิค Light-
Pointing ร่วมกับเทคนิค See-Through ใช้เวลาในการปฏิสัมพันธ์น้อยกว่าการใช้เทคนิค Light-
Pointing เพียงอย่างเดียว แสดงดังรูปที่ 5.19



รูปที่ 5.21 แสดงค่าเฉลี่ยของเวลาในการเลือกวัตถุด้วยเทคนิค Light-Pointing และเทคนิค Light-Pointing ร่วมกับเทคนิค See-Through

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง และ ข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอท่ามือพื้นฐานที่มีการปฏิสัมพันธ์ใกล้เคียงกับการใช้งานในชีวิตประจำวันที่สามารถสอดคล้องกับการออกคำสั่งใช้งานในโปรแกรมต้นแบบ โดยพิจารณาปัจจัย คือ เรียนรู้ได้เร็ว ง่ายต่อการใช้งาน และความเมื่อยล้า นอกจากนี้ได้พัฒนาเทคนิค Light-Pointing เพื่อแก้ไขปัญหาการปฏิสัมพันธ์ของเทคนิค Ray-Casting ภายใต้ลักษณะมุมมองภาพเดียว ซึ่งสามารถแก้ไขปัญหาคะเนในระยะลึก และเข้าถึงวัตถุได้อย่างมีประสิทธิภาพวิธีหนึ่ง

6.1 สรุปผลการทดลอง

1. จากการทดลองที่ 5.2.1 เป็นการทดลองคัดเลือกท่ามือพื้นฐาน เพื่อนำมาใช้ในการออกคำสั่งกับโปรแกรมต้นแบบ โดยข้อมูลได้มาจากการทำแบบสอบถาม และทำท่ามือภายใต้เงื่อนไข โดยท่ามือพื้นฐานที่ได้จากการทดลองเบื้องต้น ได้แก่ ท่ามือที่ 1 เหมาะสมกับการออกคำสั่ง “หยิบจับ” มีระดับความเหมาะสมของท่ามือที่สอดคล้องกับการออกคำสั่งมากที่สุด คือ 71.43% และมีระดับความเมื่อยล้าน้อย คือ 85.71% ท่ามือที่ 6 เหมาะสมกับการออกคำสั่ง “สถานะว่าง” มีระดับความเหมาะสมของท่ามือที่สอดคล้องกับการออกคำสั่งมากที่สุด คือ 100% และมีระดับความเมื่อยล้าน้อยที่สุด คือ 100% ท่ามือที่ 18 เหมาะสมกับการออกคำสั่ง “ถัดไปข้างหน้า ทำให้วัตถุโปร่งใส หรือเลือกวัตถุ” มีระดับความเหมาะสมของท่ามือที่สอดคล้องกับการออกคำสั่งมากที่สุด 100% และมีระดับความเมื่อยล้าน้อยที่สุด 57.14% และท่ามือที่ 20 เหมาะสมกับการออกคำสั่ง “เคลื่อนย้ายหลังจากถูกเลือก” มีระดับความเหมาะสมของท่ามือที่สอดคล้องกับการออกคำสั่งมากที่สุด 71.43% และมีระดับความเมื่อยล้าน้อย 57.14%

ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง ในหนึ่งท่ามือถ้าผู้ใช้มีลักษณะการเหยียด เกร็ง หรือบิดไปจากท่ามือที่ใช้งานในชีวิตประจำวันมากเท่าใด ยิ่งทำให้เกิดความเมื่อยล้ามากขึ้น ท่ามือที่ได้จากการทดลองเป็นเพียงท่ามือพื้นฐานที่เหมาะสมกับการออกคำสั่งเพื่อเรียกฟังก์ชันของโปรแกรมต้นแบบเพื่อนำไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

2. จากการทดลองที่ 5.2.2 เป็นการทดลองการเปรียบเทียบส่วนติดต่อกับผู้ใช้ เพื่อแสดงให้เห็นว่าการปฏิสัมพันธ์ที่สอดคล้องกับสภาวะแวดล้อมการทำงานในลักษณะ 3 มิติในส่วนติดต่อกับผู้ใช้ ทำให้ผู้ใช้สามารถลดระยะเวลาในการทำงานได้ในระดับหนึ่ง จากผลการทดลองพบว่าเมื่อนำค่าเฉลี่ยเวลาของแต่ละชนิดของส่วนติดต่อกับผู้ใช้จากตารางที่ 5.3 มาหาค่าเฉลี่ยรวมของเวลาในแต่ละวิธี ได้ดังนี้ ในส่วนติดต่อกับผู้ใช้โดยใช้เมาส์มีค่าเฉลี่ยรวมของเวลาเท่ากับ 65.35 วินาที และส่วน

ติดต่อกับผู้ใช้โดยใช้ท่ามือมีค่าเฉลี่ยรวมของเวลาเท่ากับ 45.71 วินาที ซึ่งส่วนติดต่อกับผู้ใช้โดยใช้ท่ามือมีค่าเฉลี่ยรวมของเวลาน้อยกว่าใช้เมาส์

3. จากการทดลองที่ 5.2.3 เป็นการทดลองเพื่อเปรียบเทียบเทคนิคการปฏิสัมพันธ์ ในการเลือกวัตถุ โดยมีเทคนิคดังนี้คือ เทคนิค GO-GO, เทคนิค Ray-Casting และเทคนิค Light-Pointing พบว่าเมื่อนำค่าเฉลี่ยเวลาของแต่ละเทคนิคจากตารางที่ 5.4 มาหาค่าเฉลี่ยรวมของเวลาในแต่ละเทคนิค ได้ดังนี้ เทคนิค GO-GO มีค่าเฉลี่ยรวมของเวลาเท่ากับ 6.05 วินาที เทคนิค Ray-Casting มีค่าเฉลี่ยรวมของเวลาเท่ากับ 9 วินาที และเทคนิค Light-Pointing มีค่าเฉลี่ยรวมของเวลาเท่ากับ 16 วินาที แสดงให้เห็นว่าเทคนิคที่พัฒนาขึ้น คือ เทคนิค Light-Pointing สามารถเลือกวัตถุโดยใช้เวลาน้อยกว่าเทคนิคอื่น

4. จากการทดลองที่ 5.2.4 เป็นการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการปรับเปลี่ยนตำแหน่งวัตถุในแนวแกน z โดยใช้เทคนิค Light-Pointing พบว่าเมื่อนำค่าเฉลี่ยเวลาของแต่ละวิธีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งวัตถุในแนวแกน z จากตารางที่ 5.5 มาหาค่าเฉลี่ยรวมของเวลา ได้ดังนี้ วิธีที่ 1 ระบุเป็นสัดส่วนคงที่ (1:1) มีค่าเฉลี่ยรวมของเวลาเท่ากับ 17.63 วินาที วิธีที่ 2 แบบกระจกเงา (1:2) มีค่าเฉลี่ยรวมของเวลาเท่ากับ 12.03 วินาที และวิธีที่ 3 ระบุเป็นสัดส่วนคงที่ (1:2) มีค่าเฉลี่ยรวมของเวลาเท่ากับ 11.50 วินาที แสดงให้เห็นว่าวิธีที่ 3 การปรับเปลี่ยนตำแหน่งวัตถุในแนวแกน z ในลักษณะระบุเป็นสัดส่วนคงที่ (1:2) กับเทคนิค Light-Pointing เป็นวิธีที่ใช้เวลาน้อยกว่า และตอบสนองได้ดีกว่าวิธีอื่น

5. จากการทดลองที่ 5.2.5 เป็นการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการการจัดวางวัตถุ ในลักษณะสุ่มตำแหน่งของกล่องสี่เหลี่ยมตามระยะ โดยใช้เทคนิค Light-Pointing ร่วมกับท่ามือ จุดประสงค์เพื่อแสดงให้เห็นว่าเมื่อผู้ทำการทดลองมีระยะสุ่มในแต่ละระยะเกิดขึ้น จะมีผลกระทบต่อวิธีการทดลองมากน้อยเพียงใด ผลจากการทดลองสรุปได้ดังนี้ จากตารางที่ 5.6 วิธีที่ 4 ระบุแบบ one-way screwdriver metaphor (1:2) ใช้ระยะเวลาเฉลี่ยรวมของการปฏิสัมพันธ์ระยะไกลเท่ากับ 0.76 วินาที ระยะกลางเท่ากับ 0.99 วินาที และวิธีที่ 3 ระบุแบบ non-linear ใช้ระยะเวลาเฉลี่ยรวมของระยะไกลเท่ากับ 2.73 วินาที

6. จากการทดลองที่ 5.2.6 เป็นการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการการจัดวางวัตถุในลักษณะเชิงมุม และแกนอิสระ (freeform) โดยใช้เทคนิค Light-Pointing ร่วมกับท่ามือ จุดประสงค์เพื่อแสดงให้เห็นการทำงานของวิธีการทดลองในลักษณะเชิงมุม และแกนอิสระ (freeform) ผลจากการทดลองสรุปได้ดังนี้ วิธีที่ 4 ระบุแบบ one-way screwdriver metaphor (1:2) ใช้ระยะเวลาเฉลี่ยรวมของระยะไกลเท่ากับ 8.83 วินาที และระยะไกลเท่ากับ 8.31 วินาที ซึ่งน้อยกว่าวิธีอื่น จากการสังเกตขณะทำการทดลองพบว่า ค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาดังแต่วัตถุอยู่ในรัศมีของกล่องสี่เหลี่ยมขนาดใหญ่จนกระทั่งเข้ากล่องสี่เหลี่ยมขนาดเล็กพอดี โดยที่วิธีที่ 2 ระบุเป็นสัดส่วนคงที่แบบ (1:2) ใช้ระยะเวลาน้อยกว่าวิธีอื่น เนื่องจากใช้ท่ามือในการออกคำสั่งเพียงท่าเดียวใน

ขณะที่วิธีที่ 4 จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแกน z ในการเคลื่อนที่ของวัตถุด้วยการใช้ท่ามือต่อเนื่อง คือ ท่ามือที่ 1 คือท่ามือหยิบจับ ต่อเนื่องด้วยท่ามือที่ 20 คือ ท่ามือเพื่อปรับเปลี่ยนตำแหน่งแกน z ทำให้ระยะเวลาในการทำงานเพิ่มขึ้น

7. จากการทดลองที่ 5.2.7 เป็นการทดลองเลือกวัตถุที่ถูกบัง โดยใช้เทคนิค Light-Pointing ร่วมกับท่ามือ เนื่องจากพื้นที่ในการเข้าถึงวัตถุถูกจำกัดขอบเขตภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด ทำให้การเลือก และหยิบจับวัตถุ โดยใช้เทคนิค Light-Pointing เพียงอย่างเดียว เมื่อเทียบกับเทคนิค Light-Pointing ร่วมกับเทคนิค See-Through พบว่าเมื่อนำค่าเฉลี่ยเวลาของแต่ละวิธีจากตารางที่ 5.8 มาหาค่าเฉลี่ยรวมของเวลา ได้ดังนี้ เทคนิค Light-Pointing เพียงอย่างเดียวมีค่าเฉลี่ยรวมของเวลาเท่ากับ 40.71 วินาที และเทคนิค Light-Pointing ร่วมกับเทคนิค See-Through มีค่าเฉลี่ยรวมของเวลาเท่ากับ 32.61 วินาที ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่าเทคนิค Light-Pointing เพียงอย่างเดียว

6.2 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ ได้แสดงให้เห็นการแก้ปัญหาการปฏิสัมพันธ์ภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือนแบบ 데스크ท็อปภายใต้มุมมองภาพเดียว โดยพัฒนาเทคนิค Light-Pointing ซึ่งพัฒนาจากพื้นฐานของเทคนิค Ray-Casting จากการทำการทดลอง และผลการทดลอง สรุปได้ว่า เทคนิค Light-Pointing สามารถลดระยะเวลาในการเลือกวัตถุได้ดีกว่าเทคนิคที่นำมาทำการเปรียบเทียบ เมื่อนำเทคนิค Light-Pointing มาใช้ร่วมกับท่ามือ ทำให้ต้องพิจารณาความเมื่อยล้า และความหมายของท่ามือที่สอดคล้องกับการออกคำสั่งในโปรแกรม สิ่งหนึ่งที่ต้องทำเพิ่มเติม คือ การทำแบบสอบถามเพิ่มเติมในส่วนความเมื่อยล้าที่เกิดขึ้น ขณะทดลองความแม่นยำในแต่ละวิธีการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- [1] D. A. Bowman, D. B. Johnson and L. F. Hodges. "Testbed Evaluation of Virtual Environment Interaction Techniques" **ACM, Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST '99)**, London, pp. 26-33, 1999.
- [2] K. Hinckley, R. Pausch, J. C. Goble and N. F. Kassell . "A Survey of Design Issues in Spatial Input" **ACM, UIST '94**, Symposium on User Interface Software & Technology, pp. 213-222, 1994.
- [3] I. Poupyrev, M. Billinghurst, S. Weghorst and T. Ichikawa. "The Go-Go Interaction Technique: Non-linear Mapping for Direct Manipulation in VR" **ACM, UIST '96**, Seattle Washington, pp. 79-80, 1996.
- [4] D. A. Bowman and L. F. Hodges. "An Evaluation of Techniques for Grabbing and Manipulating Remote Objects in Immersive Virtual Environments" **ACM, Symposium on Interactive 3D Graphics**, pp. 35-38, 1997.
- [5] J. Vince, **Virtual Reality Systems**. Cambridge: Addison-Wesley, 1995.
- [6] W. Penfield. [Online]. Available:
<http://www.hoerbuecher4um.de/Specials/BodyTrav.htm>. 2002.
- [7] G. C. Burdea and P. Coiffet, **Virtual Reality Technology**. New Jersey: Wiley-Interscience, 2003.
- [8] Virtual Technologies, Inc. **VirtualHand® v2.5 User's Guide**. 2001.
- [9] Wynn Kapi and Lawrence M. Elson, **The Anatomy Coloring Book**, 2nd Edition, p. 27, Harper Collins, 1993.
- [10] Polhemus, Inc. **3SPACE® User's Manual**. May 1993.
- [11] R. S. Wright and M. Sweet, **OpenGL SuperBible**. Indiana: Waite Group Press, 2000.
- [12] Virtual Technologies, Inc. **VirtualHand® Software Library Reference Manual**. 1998.
- [13] I. Poupyrev, S. Weghorst, M. Billinghurst and T. Ichikawa. "A Framework and Testbed for Studying Manipulation Techniques for Immersive VR" **ACM, Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST '97)**, pp. 21-28, 1997.
- [14] I. Poupyrev. "3D Manipulation Techniques" **SIGGRAPH**, University of Washington, 2000.

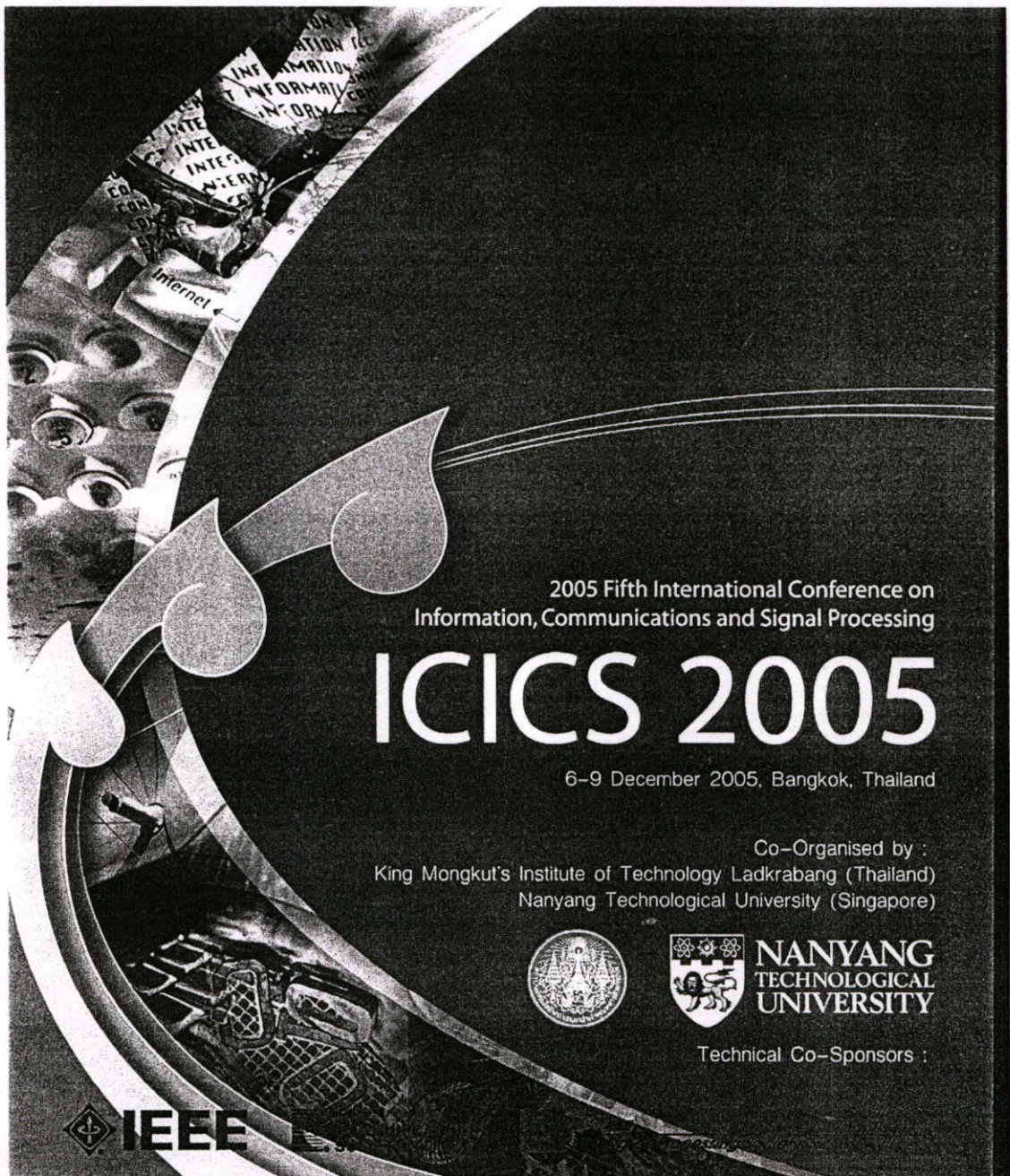
- [15] C. D. Jones and M. Mine. "Virtual Environment Interaction Techniques" **UNC Chapel Hill Computer Science Tech**, Report TR95-018, 1995.
- [16] M. Mine. "ISAAC: A Virtual Environment Tool for the Interactive Construction of Virtual Worlds" **UNC Chapel Hill Computer Science Tech**, Report TR95-020, 1995.
- [17] I. Poupyrev and T. Ichikawa. "Manipulating Objects in Virtual Worlds: Categorization and Empirical Evaluation of Interaction Techniques" **EUROGRAPHICS '98 Conference**, pp. 19-35, 1999.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

บทความและผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

1. Pornchai Kanjanasupark and Nopporn Chotikakamthorn. "A Light-Pointing Method for Virtual Object Selection and Manipulation in A Monoscopic Viewing System", 2005 Fifth International Conference on Information, Communications and Signal Processing, ICICS 2005. pp. 1076-1079.





The poster features a dark background with a large, stylized graphic of a computer mouse and keyboard on the left side. The text is centered and right-aligned. The main title 'ICICS 2005' is in a large, bold, white font. Below it, the dates and location are listed. The co-organizers are listed below that, followed by their logos. The IEEE logo is in the bottom left corner.

2005 Fifth International Conference on
Information, Communications and Signal Processing

ICICS 2005


6-9 December 2005, Bangkok, Thailand

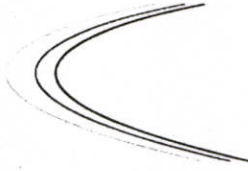
Co-Organised by :
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (Thailand)
Nanyang Technological University (Singapore)



**NANYANG
TECHNOLOGICAL
UNIVERSITY**

Technical Co-Sponsors :





User and Application Interface : F1G

Date: 9 December 2005, Friday

Time: 0900-1000

Venue: Nachwangnoy Room

Chair(s): Ing Yann SOON

F1G.1 P0807

A Light-Pointing Method for Virtual Object Selection and Manipulation in a Monoscopic Viewing System
P Kanjanasupark, N Chotikakamthorn
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, THAILAND

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.

F1G.2 P0218

Critical Technological Issues of Commercializing a Pitman Shorthand Recognition System
*Y Ma, G Leedham, *C Higgins, *S M Htwe*
 Nanyang Technological University, SINGAPORE
 *Nottingham University, UNITED KINGDOM

Pitman shorthand has been shown to possess unique advantages as a means of fast text entry on hand-held devices. Based on previous academic achievements, this paper discusses critical issues in the commercialization of Pitman Shorthand Online Reorganization System from the technological perspective. In this paper, critical technological issues are classified into two aspects. These critical issues are illustrated by an entire online simulating system which realizes all core functions from input,through segmentation, recognition to transcription of Pitman shorthand.

F1G.3 P0464

Support System for Telecommunication using Keywords
*K Asai, *F Saito*
 National Institute of Multimedia Education, JAPAN
 *Solidray Co. Ltd., JAPAN

We developed a prototype system to support telecommunications that uses keywords selected by the presenter in videoconference. The presenter holds to show keyword cards, and the listeners at remote sites can see additional information with the keywords. Although keyword captions are considered effective in video learning environments for learning foreign languages, we think they should also be available for interactive communications. Our prototype system recognizes letters and characters in a video image, and provides us with additional functions, such as language translation, 3D models, and audio reproductions. The visual data are overlaid onto the real scene with a multilayered display, using a Web browser as a presentation tool to enable us to easily author/edit multimedia data. Optical character reader (OCR) middleware was implemented into the recognition function for Japanese, and an open-source library, ARTToolkit was used to detect the character markers that controlled the functions of the information presentation. The support system is designed to efficiently exploit audiovisual signals of existing videoconferencing systems.
 Keywords—Support System, Keyword, Augmented Reality, ARTToolkit, OCR, Multi-layered Display.

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.

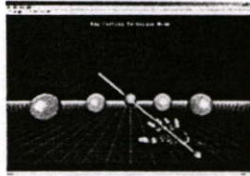


Figure 1. Screen shot of the virtual ray-casting technique while a user was selecting a virtual object with a virtual hand presence.

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].

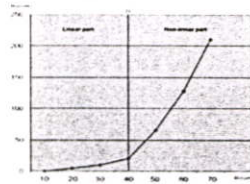


Figure 2. Non-linear mapping used in the Go-Go interaction technique.

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.

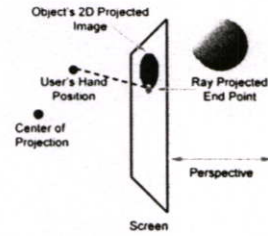


Figure 3. The light-pointing technique based on the laser-pointer metaphor.

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.

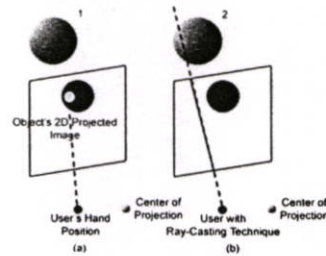


Figure 4. (a) Position of the light projected end point while selecting an object using the proposed method. (b) The ray pointing direction of the ray-casting method when a user is selecting an object. (shown here for the case where a monoscopic display device is applied.)

In addition, for the ray-casting method, disparity between the actual viewer position and the center of projection can also cause a usability problem even in a system employing a stereoscopic display device. To avoid this problem, an interactive stereoscopic viewing system should be employed instead of a static-view system. This, however, increases the system complication, and in most cases, degrades the display quality.

B. Light ray-object intersection detection

As described in Section IIIA, with the proposed method, an object is selected when the projected end point of a light ray intersects with a 2D projected image of that object. This greatly simplifies light ray-object collision detection because, unlike the ray-casting method, the proposed method performs the detection in 2D rather than 3D space. Shown in Figure 5.

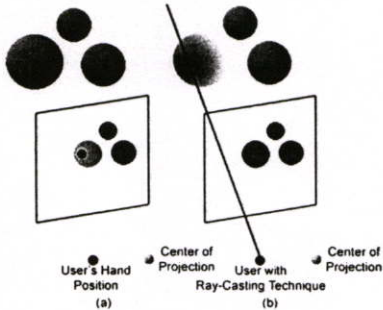


Figure 5. (a) The proposed method performs collision detection in 2D space. (b) For the ray-casting method, light ray-object intersection must be performed in 3D space.

IV. EXPERIMENT

Performance of the proposed method and the ray-casting in selecting virtual objects was considered. The scene used in the experiment was composed of five spherical objects aligned horizontally but with different depths as shown in Figure 5. Measured with respect to the distance between a user and the projection plane (which was 100 centimeters), the real-world size of each object was 5 centimeters.

All participants were asked to select those virtual objects with the selection order chosen randomly. For each experiment, the instruction on the order of object selection appeared on a computer screen just before a stop watch started. The light-pointing, the ray-casting and Go-Go methods were tested in the experiments. Screen snapshots during experiments are shown in Figures 6, 7 and 8.

The time required to complete the task was recorded for each experiment. The mean and standard deviation of the time required to complete the task for each of the six volunteers are shown in Figure 9.

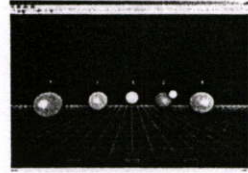


Figure 6. Snapshot of the screen during the experiment using the light-pointing.

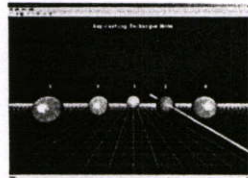


Figure 7. Snapshot of the screen during the experiment using the ray-casting method.

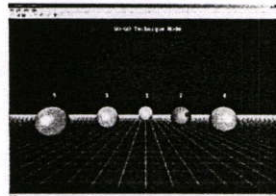


Figure 8. Snapshot of the screen during the experiment using the Go-Go method.

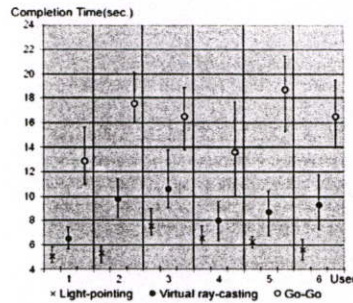


Figure 9. Mean times for object selection using the light-pointing technique, the virtual ray-casting technique and the Go-Go technique.

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.

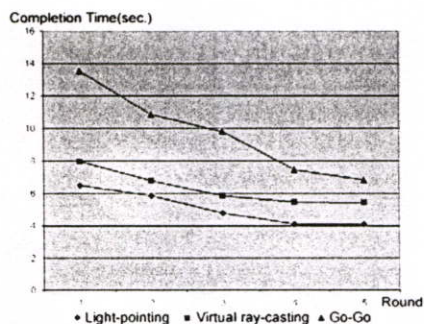


Figure 10. Averaged task completion time for each of five ordered trials.

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.

2. Pornchai Kanjanasupark and Nopporn Chotikakamthorn. "Posture-Based Human Interface Technique for 3D Graphics Modeling", The First Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications, and Information Technology Conference, ECTI Conference 2004. pp. 243-245.

ECTI Conference
2004

ECTI
Association

Proceedings of The First Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications, and Information Technology (ECTI) Annual Conference

May 13-14, 2004
Amari Orchid Resort, Pattaya, Choburi, THAILAND

IEEE CAS Society
IEEE LEOS Thailand Chapter
NECTEC

Posture-based Human Interface Technique for 3D Graphics Modeling

Pornchai Kanjanasupark and Nopporn Chotikakamthorn

Faculty of Information Technology &
Research Center for Communications and Information Technology,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Chalongkrung Road, Bangkok 10250, Thailand
e-mail: pornchai_k@hotmail.com

ABSTRACT

One of the most time-consuming and costly tasks in 3D computer synthetic imaging is object modeling. Normally, 3D computer graphic content creation applications adopt pointing devices such as a 2D or 3D mouse, a trackball, or a tablet digitizer. Those devices provide a single point coordinate information, one at a time. In addition, familiarity with commands and operation sequences require steep learning and practicing curve, before a user can effectively use the tool for complicated object modeling. In contrast to those single-point-of-contact devices, a human hand provides many more points of contact, at each time instant. Object manipulation in a real world relies extensively on this feature. Motivated by this fact, and that the human of sufficient age has already learned how to use his/her hand to perform common physical object manipulation in their everyday life, this paper considers the use of hand posture/gesture as a device for manipulating a virtual object in 3D computer graphic modeling. The paper describes a hand posture-based Human-Computer Interface (HCI) framework, to be used in the 3D modeling problem. Outline of the posture classification subsystem is described. Design of the postures is also detailed. A prototype software has been developed to evaluate the efficiency in using the developed HCI metaphor for manipulating 3D object positional and orientation properties. Comparative experiment has been performed using the proposed method and a conventional approach based on a single-point-of-contact pointing device.

Keywords: Virtual reality, HCI, computer graphics, 3D modeling, gesture recognition

1. INTRODUCTION

One of the most time-consuming and costly tasks in 3D synthetic imaging is modeling a 3D object. Current CG (Computer Graphic) content creation tools adopt a pointing device such as a 2D or 3D spacemouse, a trackball or a digitizer, as a default device for object modeling. Those devices only provide single-point coordinate (positional/orientation) information at each time instance. In addition, the way these devices are used

is quite different from how a human hand is used to manipulate a real-world object. For complex commands/operations commonly found in commercial CG creation tools, this generally results in steep learning curve, and short retention period. In fact, most current commercial 3D content creation tools have been designed specially for a 2D pointing device. This further complicates virtual object manipulation steps [1, 2].

In this paper, motivated by the facts that a human hand contains many points of contact, providing multi-channel point positional information, and that most users with sufficient age have already acquired skill in using a hand for manipulating physical objects, here a hand gesture-based HCI metaphor is proposed and applied to the 3D graphic modeling task. The paper addresses the problem of manipulating positional and orientation properties of a 3D virtual object. Proper design of hand postures and a modeling system is considered.

In Section 2, outline of a hand posture acquisition and classification techniques are described. Next, design of the hand postures for 3D modeling, are detailed in Section 3. Experimental results, comparing the proposed system with a conventional HCI approach, are reported with some analytic discussion in Section 4.

2. HAND POSTURE ACQUISITION AND CLASSIFICATION TECHNIQUES

The hand posture acquisition system used in this study consists of 3 main components: the posture database, the acquisition and the classification subsystems.

2.1 Hand Posture Acquisition

For direct manipulation using a hand posture [3,4], an electronic glove (CyberGlove™) has been used in this study to acquire information about finger joint angles and 3D hand orientation. The hand posture acquisition and classification modules take from the device 11 input parameters corresponding to 3 finger joint angles (thumb, index, middle finger) and 2 abduction angles between thumb finger and index finger. Data was collected from five different users, performing hand postures used in the study. The averaged values for each postures, as well as

some statistical properties, were then stored in the system's database.

2.2 Hand Posture Classification

Hand posture classification suitable for 3D modeling is quite different from that of natural sign language translation system. Perhaps the most distinctive difference is in the number of hand postures to be handled and the number of finger joint angle data points required. For command-based gesture applications such as 3D modeling, it is sufficient to use only a small (selected) number of hand postures and finger data points. This can be exploited to simplify the recognition method used in our study. Here, a simplified recognition technique based on a Euclidean minimum distance algorithm was adopted. The method was chosen due to its low computational complexity, which allows for efficient real-time implementation.

3. DESIGN OF THE HAND POSTURES

Hand postures have been chosen to convey five object manipulation modes, namely 'Idle', 'Selection', 'Control Selection', 'Grab', and 'Transparency' (see "Fig. 1:").

The first posture represents the 'Idle' mode. This mode is an initial mode before a current mode can be changed to another. For example, when a user needs to perform object translation, the system must first be returned to the 'Idle' mode, before turning into the 'Grab' mode.

The 'Selection' mode, as activated by the posture described by "Fig. 1-b:", is used to choose one or more objects that will be affected by subsequent actions. This mode is analogous to the use of a conventional 2D pointing device for multiple object selection (in most tools, a control key 'Ctrl' must be pressed while selecting multiple objects with a 2D mouse).

By using the posture described in "Fig. 1-c:", the 'Grab' mode is activated. This mode is used to 'grab' a selected object(s) and move it to a new location. The mode is analogous to the 2D mouse 'grab' or 'drag and drop' mode.

Another manipulation mode as activated by the posture in "Fig. 1-d:" is the 'Transparency' mode. This mode is specifically designed for use in 3D object manipulation. It is included to help identifying and manipulating an object occluded by another object(s) in front of it. This mode is necessary for manipulating 3D objects using a single view. By letting objects to be manipulated using only a single view, time spent in switching among different view is eliminated.

To manipulate an object hidden behind another, choose the 'Transparency' mode and the front object's surface is changed to a semi-transparent one.

4. EXPERIMENTS

A software prototype has been developed to evaluate the efficiency of the proposed method, in manipulating 3D virtual object positional and orientation properties.

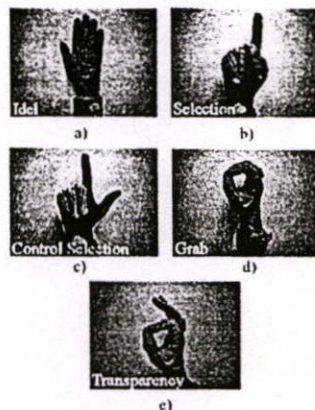


Fig.1: Set of hand postures for giving instructions on 3D object manipulation modes

The proposed system has been compared with one of the commercial 3D content creation tools. The commercial tool uses a 2D mouse as its pointing device. The developed program was written in C using the OpenGL library. The 3D input devices are the right-hand CyberGlove™ electronic glove, and the Polhemus™ 6-DOF tracker

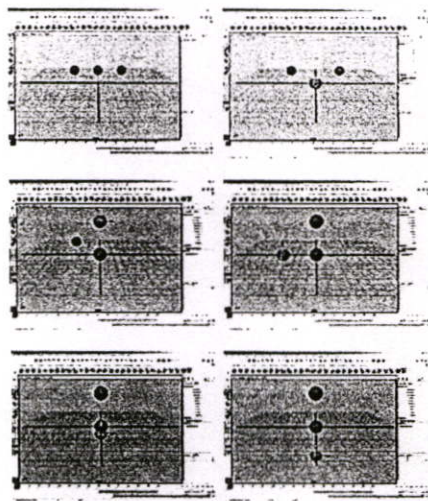


Fig.2: Initial scene created in one of the commercial 3D content creation tool using a 2D input device (2D mouse)

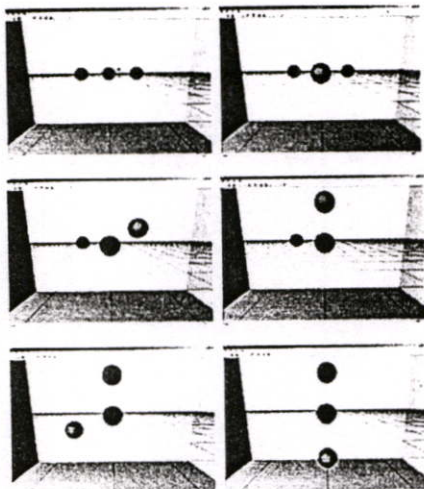


Fig.3: Snapshots of a prototype program for 3D objection manipulation using a posture-based method

Both programs were set under similar scene condition. In both cases, initially the scene was composed of three spherical objects placed on the same horizontal level, and aligned horizontally. Each of the participants to the experiment was asked to manipulate each of the three object such that their positions were changed to the target points located on the middle of the window. The objects were also required to be oriented to aligned vertically (see "Figs. 2-3:").

Because the tool against which the developed prototype was compared, is menu-driven, the participants must first click on the 'move' button on the program menu before translating an object. Then each translation axis as appeared on top of the object under manipulation was selected to carry out the translation along the corresponding direction. The same operation as performed by the developed prototype was carried out by using an appropriate posture, as detailed in "Fig. 1:".

In all experiments, task completion time was recorded. Averaged time required to complete the task for each of five volunteers is shown in "Fig. 4:".

From the figure, the task completion time when the developed system was used is lower for 4 of 5 volunteers. From the volunteer satisfaction survey, it was found that this increased efficiency is due to the fact that the number of steps required to switch object manipulation modes, necessary to perform the task, is reduced when the developed prototype was used. In addition, minimum hand movement is required by the developed posture-based method, resulting in less fatigue [5] and reduced time in giving the system a required instruction. More experiments are under way to evaluate the proposed system under other task conditions.

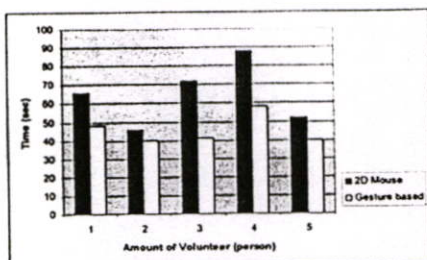


Fig.4: Averaged task completion time for 3D object alignment using the posture-based method and a method based on a 2D pointing device.

5. ACKNOWLEDGEMENT

Work of the first author was financially supported by Research Center for Communications and Information Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.

6. REFERENCES

- [1] K. H. Tsang, H. Sun and M. Green, "Virtual World Modeler," *Proceeding of the ACM Symposium on Virtual reality software and technology (VRST98)*, pp.179-186, 1998.
- [2] C. Ware and D. R. Jessome, "Using the bat: A six dimensional mouse for object placement," *Proceeding of Graphics Interface '88*, pp.119-124, 1988.
- [3] K. Hinckley, R. Pausch, D. Proffitt and N. F. Kassell, "Two-Handed Virtual Manipulation," *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, pp.260-302, 1998.
- [4] D. J. Sturman, D. Zeltzer and S. Pieper, "Hands-on interaction with virtual environments," *Symposium on User Interface Software and Technology*, pp.19-24, 1989.
- [5] K. Hinckley, R. Pausch, J. C. Goble and N. F. Kassell, "A Survey of Design Issues in Spatial Input," *Proceedings of the 7th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp.213-222, 1994.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน

นายพรชัย กาญจนสุภัทร์

วัน เดือน ปีเกิด

วันที่ 21 พฤศจิกายน พ.ศ. 2518

วุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรี

วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาการ

คอมพิวเตอร์

สถานที่สำเร็จการศึกษา

มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

ปีที่สำเร็จการศึกษา

2542

ประสบการณ์การทำงาน

พฤศจิกายน 2546 – ตุลาคม 2547 ตำแหน่ง
ผู้ช่วยนักวิจัย ประจำห้อง Multimedia and
Virtual Research Lab. สำนักวิจัยการสื่อสาร
และเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง