สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การปฏิสัมพันธ์ทางกายภาพผ่านระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์

Physical Interaction through Internet

นายพลชัย โชติปรายนกุล

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

RCH
ท 439 ก
2555
เลขหมู่
เลขทะเบียน 137989
รับเมื่อ วัน เดือน ปี - 8 ก.ย. 2558
.b 12704970
.i

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงิน รายได้ ประจำปีงบประมาณ 2555

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

บทคัดย่อ 1-5

ABSTRACT 1-6

กิตติกรรมประกาศ 1-7

บทที่ 1 บทนำ 1-8

1.1. ความเป็นมา 1-8

1.2. วัตถุประสงค์ 1-8

1.3. ขอบเขตงานวิจัย 1-9

1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 1-9

1.4.1. เชิงปฏิบัติการ 1-9

1.4.2. เชิงทฤษฎีและงานวิจัย 1-9

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 2-10

2.1. การปฏิสัมพันธ์ทางกายภาพ (Physical Interaction) 2-10

2.2. เครือข่ายคอมพิวเตอร์ (Computer Network) 2-10

2.3. อุปกรณ์แฮปติก (Haptic Device) 2-13

2.4. การเชื่อมโยงแบบเวอร์ชวลคับปลิ้ง (Virtual Coupling Approach) 2-14

2.5. เวลาหน่วง (Delay Time) 2-14

บทที่ 3 ขั้นตอนการทำงาน 3-16

3.1. การสร้างโปรแกรมแม่ข่าย (Server Software) 3-17

3.1.1. การเปิดการทำงานของซ็อกเก็ต (Creating) 3-17

3.1.2. การเปิดรอการเชื่อมโยง (Listening) 3-18

3.1.3. การตอบรับการเชื่อมโยง (Accepting) 3-18

3.2. การสร้างโปรแกรมลูกข่าย (Client Software) 3-19

3.3. การเชื่อมโยงอุปกรณ์แฮปติก (Haptic Interfacing) 3-20

3.4. การเชื่อมโยง (Connecting) 3-21

3.5. การสอบเทียบค่าแรง (Force Calibration) 3-22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.6. การทดสอบการส่งถ่ายแรง (Force Transfer)....3-23
3.7. การวัดค่าเวลาหน่วง (Delay Time Measurement)....3-24
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน....4-27
4.1. โปรแกรมแม่ข่ายและลูกข่าย (Server and Client Program)....4-27
4.2. ผลของการทดสอบวัดค่าเวลาหน่วง (Result of Delay Time Testing)....4-28
4.3. ผลของการสอบเทียบค่าแรง (Force Calibration Result)....4-28
4.4. การทดสอบการส่งถ่ายแรง (Force Transfer)....4-29
บทที่ 5 สรุปผล....5-31
5.1. สรุปผลการทำงาน....5-31
5.2. งานพัฒนาต่อเนื่อง....5-31
ภาคผนวก....5-33
ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย....5-34

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use. Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 รูปอุปกรณ์แฮบติกแบบต่าง ๆ 2-13
รูปที่ 2.2 ภาพแสดงวิธีเวอร์ชวลคับปลิ่ง 2-14
รูปที่ 2.3 ภาพแสดงโมเดลของระบบการปฏิสัมพันธ์ทางกายภาพผ่านทางโครงข่ายระหว่างผู้ใช้งาน a-b 2-15
รูปที่ 3.1 ภาพแสดงการทำงานของซอฟแวร์ที่เชื่อมอุปกรณ์แฮปติกระหว่างผู้ใช้งาน 2 ข้าง 3-16
รูปที่ 3.2 แผนภาพการเชื่อมโยงระหว่างเครื่องลูกข่ายกับแม่ข่าย 3-19
รูปที่ 3.3 แผนภาพแสดงการสื่อสารข้อมูลตำแหน่งแฮปติก 3-22
รูปที่ 3.4 การติดตั้งอุปกรณ์ทดลองการสอบเทียบแรง 3-23
รูปที่ 3.5 แผนภาพแสดงวิธีทดลองการส่งถ่ายแรง 3-24
รูปที่ 3.6 แผนภาพแสดงวิธีทดลองการหาคาบเวลาและเวลาห่วงของโปรแกรม 3-26
รูปที่ 4.1 รูปแสดงโปรแกรมแม่ข่าย (Server Program) และ โปรแกรมลูกข่าย (Client Program) 4-27
รูปที่ 4.2 แสดงการทำงานของระบบ 4-28
รูปที่ 4.3 การสอบเทียบอุปกรณ์แฮปติก (Novint ® Falcon) 4-29

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การปฏิสัมพันธ์ทางกายภาพผ่านระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์

แหล่งเงิน ทุนสนับสนุนงานวิจัยเงินงบประมาณแผ่นดิน คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประจำปีงบประมาณ 2555 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 200,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2554 ถึง 1 ตุลาคม 2555

หัวหน้าโครงการ นายพลชัย โชติปรายนกุล สังกัด สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

ในงานอุตสาหกรรม การปฏิสัมพันธ์ทางกายภาพ อย่างการจับต้องสัมผัสสิ่งของเป็นวิธีการหนึ่งที่สำคัญที่ช่วยให้เข้าใจถึงรูปทรงลักษณะทางเรขาคณิต ผิวสัมผัส หรือ ความแข็งหรืออ่อนนุ่มของสิ่งนั้น ๆ การตรวจสอบดังกล่าวข้างต้นผู้ทดสอบจำเป็นต้องสัมผัสโดยตรงกับชิ้นงานหรือ ผู้ถูกทดสอบทำให้จำเป็นต้องเดินทางเพื่อมาพบกัน

โครงการระบบการปฏิสัมพันธ์ทางกายภาพผ่านทางเครือข่ายคอมพิวเตอร์ จึงถูกนำเสนอเพื่อที่จะขยายความสามารถของการเชื่อมโยงให้คู่สนทนา หรือ ผู้ใช้งานสามารถรับรู้และโต้ตอบทางกายภาพได้ (Physical Telepresent) โดยประสิทธิภาพของกระบวนการทำงานของระบบจะขึ้นอยู่กับรอบเวลาการทำงานของระบบที่ต้องมากกว่า 1kHz จะให้การตอบสนองของความรู้สึกของผู้ใช้งานมากที่สุดการศึกษาของโครงงานนี้จะมุ่งเน้นที่ผลกระทบของเวลาหน่วงของระบบโครงข่าย (Delay Time) ที่ส่งผลต่อแรงที่ผู้ใช้งานกับแรงที่สร้างขึ้นอีกฝั่งของระบบ และ ผลกระทบของเวลาหน่วงต่อเสถียรภาพของระบบ

โดยผลการศึกษาของโครงการที่ทำจากแบบจำลอง และ การทดลองจากระบบจริงยืนยันถึงผลกระทบของเวลาหน่วงที่มีต่อทั้ง แรงที่ผู้ใช้งาน และ เสถียรภาพของระบบ

คำสำคัญ : ปฏิสัมพันธ์ทางกายภาพ เสถียรภาพและประสิทธิภาพของระบบการปฏิสัมพันธ์ทางกายภาพ เวลาหน่วง การรับรู้และโต้ตอบในแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Research Title: Physical Interaction through Internet

Researcher: Mr. Pholchai Chotiprayanakul

Faculty: Engineering **Department:** Industrial Engineering

ABSTRACT

Physical interaction among people is an essential communication that gains relationship between them. Conversation through the Internet can make the world closed up when people want to talk to someone at other side of the world. Physical interaction through Internet is relatively new way to connect the other end user. For an industrial application on design and prototyping, remote physical interaction will be a useful application that allows a user touching and experience shape and texture of the work piece, remotely.

Physical Interaction through Internet or Physical Telepresent System is established to expand conversation from audio to physical connection. Efficiency of the system is depended on delay time, which is the performance of the network. The delay time affects to the force transparency that the force user applies is falsely resembled at the output side. The improper force in a feedback control system will make the system unstable.

In this project, The Physical Telepresent System is created and studied on the effect of the delay time on the force transparency and stability of the system. Simulations and experiments are conducted to confirm the effect of time delay.

Keywords : ตัวอักษรขนาด 14 จำนวน 3-8 คำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use. Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ รศ. พรศักดิ์ อรรถวานิช หัวหน้าสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ที่ให้การช่วยเหลือและสนับสนุนเป็นอย่างดีในการวิจัย และ ขอขอบใจนักศึกษาทุก ๆ คนที่ให้เข้าร่วมทดลองและให้ คำแนะนำในการปรับปรุงระบบที่จัดสร้างขึ้น

การวิจัยครั้งนี้ได้รับการจัดสรรทุนวิจัยจากท่านคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ และ ทุนสนับสนุนการวิจัย จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังจากเงินงบประมาณแผ่นดินประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2555

ผู้จัดทำโครงการ

ดร. พลชัย โชติปรายนกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

ในการใช้ชีวิตของคน การปฏิสัมพันธ์กับผู้คน สิ่งของ และ สิ่งแวดล้อม เป็นสิ่งที่คนเราต้องเจอและเรียนรู้ที่จะโต้ตอบต่อสิ่งรอบตัวตั้งแต่เกิด การที่เราได้จับต้องสัมผัสสิ่งของต่าง ๆ หรือสิ่งแวดล้อมเป็นการทำให้เราได้รับรู้ถึงรูปร่างลักษณะของสิ่งของนั้น ๆ หรือแม้การสัมผัสกับบุคคลอื่นนั้นไม่ได้เป็นพื้นวัฒนธรรมของไทย แต่การจับมือในตอนทักทายแบบชาวตะวันตกก็เริ่มเป็นที่ยอมรับในปัจจุบัน ที่กล่าวมาเบื้องต้นนี้เป็นลักษณะของการสร้างปฏิสัมพันธ์ทางกายภาพกับสิ่งรอบตัว

1.1. ความเป็นมา

ในงานอุตสาหกรรม การปฏิสัมพันธ์ทางกายภาพ อย่างการจับต้องสัมผัสสิ่งของเป็นวิธีการหนึ่งที่สำคัญ ที่ช่วยให้เข้าใจถึงรูปทรงลักษณะทางเรขาคณิต ผิวสัมผัส หรือ ความแข็งหรืออ่อนนุ่มของสิ่งนั้น ๆ ส่วนในทางการแพทย์ การตรวจวินิจฉัยโรคโดยการสัมผัสไปอวัยวะที่เป็นสัญฐานของโรคหรือการบาดเจ็บ ก็ต้องอาศัยการปฏิสัมพันธ์ทางกายภาพที่สามารถแสดงถึงรายละเอียดของโรคหรือการบาดเจ็บได้ การตรวจสอบดังกล่าวข้างต้น ผู้ทดสอบจำเป็นต้องสัมผัสโดยตรงกับชิ้นงานหรือผู้ถูกทดสอบ ทำให้จำเป็นต้องมีการเคลื่อนที่เดินทางเพื่อมาพบกัน ดังนั้น ในโครงการนี้จึงจะนำเสนอ ระบบที่สามารถสร้างการปฏิสัมพันธ์ทางกายภาพผ่านทางโครงข่ายคอมพิวเตอร์

1.2. วัตถุประสงค์

- เพื่อศึกษาการปฏิสัมพันธ์ทางกายภาพผ่านทางโครงข่ายคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- เพื่อพัฒนารูปแบบการสื่อสารสองทิศทางที่รองรับการปฏิสัมพันธ์ทางกายภาพผ่านทางโครงข่ายคอมพิวเตอร์
- เพื่อวิเคราะห์และพัฒนาระบบควบคุมสเถียรภาพของระบบการปฏิสัมพันธ์ทางกายภาพผ่านทางโครงข่ายคอมพิวเตอร์ที่มีเวลาหน่วง

1.3. ขอบเขตงานวิจัย

- โครงการที่จัดทำจะมีจุดเชื่อมต่อกับผู้ใช้งาน 2 จุดผ่านอุปกรณ์แฮบติก (Haptic Device)
- ทำการจัดสร้างโปรแกรมสำหรับควบคุมและสร้างการเชื่อมโยงระหว่างอุปกรณ์แฮบติก 2 ชุดนั้น
- ทำการวิเคราห์และหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาหน่วงกับสเถียรภาพของระบบ

1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่จะได้รับแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ในเชิงปฏิบัติการ และ ในเชิงทฤษฎีและงานวิจัย

1.4.1. เชิงปฏิบัติการ

ระบบที่จัดทำสร้างขึ้นสามารถใช้งานได้ในหลายด้านอย่างการวิเคราะห์กระบวนการทำงานในงานอุตสาหกรรมหรือการวินิจฉัยโรคทางการแพทย์

1.4.2. เชิงทฤษฎีและงานวิจัย

การวิเคราห์และหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาหน่วงกับสเถียรภาพของระบบ เป็น แนวทางการวิจัยที่เป็นที่นิยมทำในปัจจุบันเพื่อรองรับการปฏิสัมพันธ์ทางกายภาพผ่านทางโครงข่ายที่จะเกิดในอนาคตอันใกล้นี้ การวิเคราะห์กับสเถียรภาพของระบบจะต้องใช้คณิตศาสตร์ขั้นสูง และ การออกแบบโปรแกรมควบคุมที่ซับซ้อนเพื่อให้ระบบมีความมั่นคงต่อการเปลี่ยนแปลงของเวลาหน่วงที่เกิดขึ้นแบบสุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การสื่อสารและเวลาหน่วงในระบบการปฏิสัมพันธ์ทางกายภาพผ่านทางโครงข่ายคอมพิวเตอร์เป็นส่วนสำคัญในการสร้างสเถียรภาพในการแสดงความถูกต้องของแรงและการเคลื่อนที่ที่สร้างจากอุปกรณ์แฮบติก [1][2] โดยแรงจะต้องมีการคำนวนซ้ำ ๆ โดยมีรอบเวลาการคำนวนไม่เกิน 1 มิลลิวินาที เพื่อให้ผู้ที่ใช้งานรู้เสมือนได้สัมผัสของสิ่งนั้นจริง (High-Fidelity of Touch) ปัจจัยที่สำคัญอีกอย่างคือความโปรงใสของระบบ (transparency of a physical interaction system) โดย ความโปรงใส (Z) ได้ถูกจำกัดความโดย งานวิจัยที่เสนอใน [3][4][5] ส่วนในงานวิจัยที่แสดงใน [6][7][8] บงชี้ถึงเสถียรภาพของระบบขึ้นกับ เวลาหน่วงนั่นเอง

2.1. การปฏิสัมพันธ์ทางกายภาพ (Physical Interaction)

ในตอดต่อสื่อสารระหว่างผู้คน ระหว่างคนกับสิ่งแวดล้อม การสัมผัสทางกายภาพเป็นสิ่งจำเป็นพอ ๆ กับการสื่อสารทางอื่น ๆ อย่าง การมองเห็น การได้ยิน การสัมผัสทางกายภาพมีอยู่ด้วยกันหลายลักษณะ เช่น การสัมผัสอุณหภูมิร้อนเย็น การสัมผัสการสั่นสะเทือน การสัมผัสพื้นผิว และ การสัมผัสแรง ซึ่งการสัมผัสเหล่านี้ทำให้คนเราสามารถรับรู้ได้ถึงรูปร่างและคุณสมบัติทางกายภาพของสิ่งแวดล้อม

2.2. เครือข่ายคอมพิวเตอร์ (Computer Network)

เครือข่ายคอมพิวเตอร์หรือคอมพิวเตอร์เน็ตเวิร์ก คือ ระบบการสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์จำนวนตั้งแต่สองเครื่องขึ้นไปในปัจจุบันมีการใช้งานคอมพิวเตอร์ อย่างแพร่หลายจึงเกิดความต้องการที่จะเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ เหล่านั้นถึงกันเพื่อเพิ่มความสามารถของระบบให้สูงขึ้นและลดต้นทุนของระบบโดยรวมลง การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โอนย้ายข้อมูลระหว่างกันในเครือข่ายทำให้ระบบมีขีดความสามารถเพิ่มมากขึ้นการแบ่งการใช้ทรัพยากร เช่น หน่วยประมวลผล,หน่วยความจำ,หน่วยจัดเก็บข้อมูล, โปรแกรมคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ต่างๆที่มีราคาแพง และไม่สามารถจัดหามาให้ทุกคนได้เช่นเครื่องพิมพ์เครื่องกราดภาพ(scanner)ทำให้ลดต้นทุนของระบบลงได้

ชนิดของเครือข่าย

เครือข่ายเป็นการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ ตั้งแต่ 2 เครื่อง ขึ้นไปเข้าด้วยกันเพื่อสะดวกต่อการร่วมใช้ข้อมูล, โปรแกรมหรือเครื่องพิมพ์และยังสามารถอำนวยความสะดวกในการติดต่อแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างเครื่องได้ตลอดเวลาระบบเครือข่ายจะถูกแบ่งออกตามขนาดของเครือข่ายซึ่งปัจจุบันเครือข่ายที่รู้จักกันดีมีอยู่5แบบได้แก่

1. เครือข่ายภายในหรือแลน (Local Area Network: LAN) เป็นเครือข่ายที่ใช้ในการเชื่อมโยงกันในพื้นที่ใกล้เคียงกันเช่นอยู่ในห้องหรือภายในอาคารเดียวกัน

2. เครือข่ายวงกว้างหรือแวน (Wide Area Network: WAN) เป็นเครือข่ายที่ใช้ในการเชื่อมโยงกันในระยะทางที่ห่างไกลอาจจะเป็นกิโลเมตรหรือหลายๆกิโลเมตร

3. เครือข่ายงานบริเวณนครหลวงหรือแมน (Metropolitan Area Network: MAN)

4. เครือข่ายของการติดต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์หรือแคน (Controllerarea Network: CAN) เป็นเครือข่ายที่ใช้ติดต่อกันระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ (MicroController Unit: MCU)

5. เครือข่ายส่วนบุคคลหรือแพน (Personal Area Network: PAN) เป็นเครือข่ายระหว่างอุปกรณ์เคลื่อนที่ส่วนบุคคลเช่นโน้ตบุ๊กมือถืออาจมีสายหรือไร้สายก็ได้

อุปกรณ์เครือข่าย

เซิร์ฟเวอร์ (Server) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเครื่องแม่ข่ายเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์หลักในเครือข่ายที่ทำหน้าที่จัดเก็บและให้บริการไฟล์ข้อมูลและทรัพยากรอื่นๆกับคอมพิวเตอร์เครื่องอื่นๆในเครือข่ายโดยปกติคอมพิวเตอร์ที่นำมาใช้เป็นเซิร์ฟเวอร์มักจะเป็นเครื่องที่มีสมรรถนะสูงและมีฮาร์ดดิสก์ความจำสูงกว่าคอมพิวเตอร์เครื่องอื่นๆในเครือข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ไคลเอนต์ (Client) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเครื่องลูกข่ายเป็นคอมพิวเตอร์ในเครือข่ายที่ร้องขอบริการและเข้าถึงไฟล์ข้อมูลที่จัดเก็บในเซิร์ฟเวอร์หรือพูดง่ายๆก็คือไคลเอนต์เป็นคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้แต่ละคนในระบบเครือข่าย

ฮับ (HUB) หรือ รีพีตเตอร์ (Repeater) คืออุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อกลุ่มคอมพิวเตอร์ฮับมีหน้าที่รับส่งเฟรมข้อมูลทุกเฟรมที่ได้รับจากพอร์ตใดพอร์ตหนึ่งไปยังพอร์ตที่เหลือคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อเข้ากับฮับจะแชร์แบนด์วิธหรืออัตราข้อมูลของเครือข่ายเพราะฉะนั้นถ้ามีคอมพิวเตอร์เชื่อมต่อมากจะทำให้อัตราการส่งข้อมูลลดลง

สวิตช์ (Switch) คืออุปกรณ์เครือข่ายที่ทำหน้าที่ในชั้นที่ 2 และทำหน้าที่ส่งข้อมูลที่ได้รับมาจากพอร์ตหนึ่งไปยังพอร์ตเฉพาะที่เป็นปลายทางเท่านั้นและทำให้คอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อกับพอร์ตที่เหลือส่งข้อมูลถึงกันในเวลาเดียวกันดังนั้นอัตราการรับส่งข้อมูลหรือแบนด์วิธจึงไม่ขึ้นอยู่กับคอมพิวเตอร์ปัจจุบันนิยมเชื่อมต่อแบบนี้มากกว่าฮับเพราะลดปัญหาการชนกันของข้อมูล

เราเตอร์ (Router) เป็นอุปรณ์ที่ทำหน้าที่ในชั้นที่ 3 เราท์เตอร์จะอ่านที่อยู่ (Address) ของสถานีปลายทางที่ส่วนหัว (Header) ของแพ็กเก็ตข้อมูลเพื่อที่จะกำหนดและส่งแพ็กเก็ตต่อไปเราท์เตอร์จะมีตัวจัดเส้นทางในแพ็กเก็ตเรียกว่าเราติ้งเทเบิ้ล (RoutingTable) หรือตารางจัดเส้นทางนอกจากนี้ยังส่งข้อมูลไปยังเครือข่ายที่ให้โพรโทคอลต่างกันได้เช่น IP (Internet Protocol) , IPX (Internet Package Exchange) และ Apple Talk นอกจากนี้ยังเชื่อมต่อกับเครือข่ายอื่นได้เช่นเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

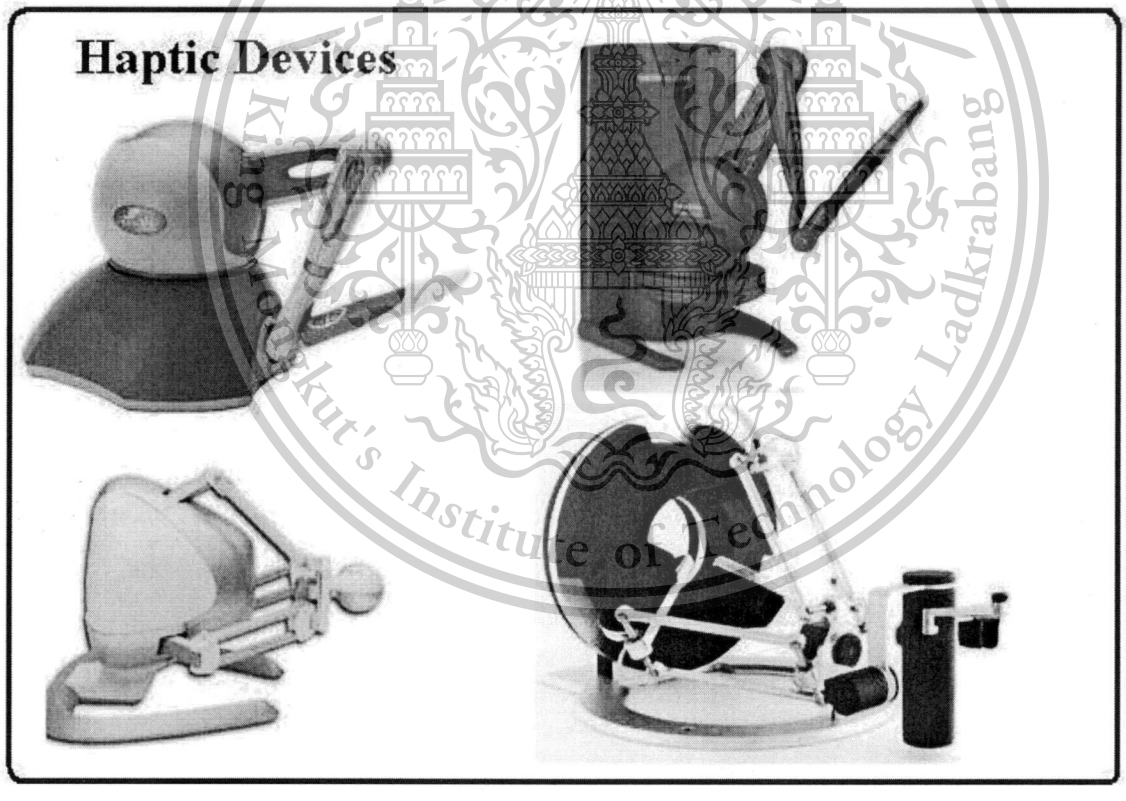
บริดจ์ (Bridge) เป็นอุปกรณ์ที่มักจะใช้ในการเชื่อมต่อวงแลน (LAN Segments) เข้าด้วยกันทำให้สามารถขยายขอบเขตของ LAN ออกไปได้เรื่อยๆโดยที่ประสิทธิภาพรวมของระบบไม่ลดลงมากนักเนื่องจากการติดต่อของเครื่องที่อยู่ในเซกเมนต์เดียวกันจะไม่ถูกส่งผ่านไปรบกวนการจราจรของเซกเมนต์อื่นและเนื่องจากบริดจ์เป็นอุปกรณ์ที่ทำงานอยู่ในระดับ Data Link Layer จึงทำให้สามารถใช้ในการเชื่อมต่อเครือข่ายที่แตกต่างกันในระดับ Physical และ Data Link ได้เช่นระหว่าง Eternet กับ TokenRing เป็นต้น บริดจ์มักจะถูกใช้ในการเชื่อมเครือข่ายย่อยๆในองค์กรเข้าด้วยกันเป็นเครือข่ายใหญ่เพียงเครือข่ายเดียวเพื่อให้เครือข่ายย่อยๆเหล่านั้นสามารถติดต่อกับเครือข่ายย่อยอื่นๆได้

เกตเวย์ (Gateway) เป็นอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ที่เชื่อมต่อเครือข่ายต่างประเภทเข้าด้วยกันเช่นการใช้เกตเวย์ในการเชื่อมต่อเครือข่ายที่เป็นคอมพิวเตอร์ประเภทพีซี (PC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3. อุปกรณ์แฮปติก (Haptic Device)

แฮปติกมาจากภาษากรีก haptikos หมายถึงส่วนที่เกี่ยวกับความรู้สึกของการสัมผัส หรือ คำกริยา haptesthai ที่หมายถึงติดต่อหรือสัมผัส เทคโนโลยีแฮปติกเป็นเทคโนโลยีตอบสนองการสัมผัสของผู้ใช้งานโดยให้ผู้ใช้สามารถรู้สึกสัมผัสถึงการสั่นสะเทือนหรือการเคลื่อนไหวได้โดยตรง กลไกการกระตุ้นการเคลื่อนไหวหรือสั่นสะเทือนสามารถใช้เพื่อช่วยสร้างวัตถุเสมือนในการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์ หรือ เพื่อขยายประสบการณ์ของการควบคุมระยะไกลของระบบหุ่นยนต์ (Telerobotics) ทำให้ผู้ควบคุมหุ่นยนต์สามารถรับความรู้สึกจากการสัมผัสสิ่งที่คอมพิวเตอร์กราฟิกไม่สามารถให้ได้จากการแสดงภาพสามมิติอย่างเดียว อุปกรณ์แฮปติกอาจรวมถึงเซ็นเซอร์สัมผัสที่สามารถวัดแรงกระทำจากการอินเตอร์เฟซกับผู้ใช้

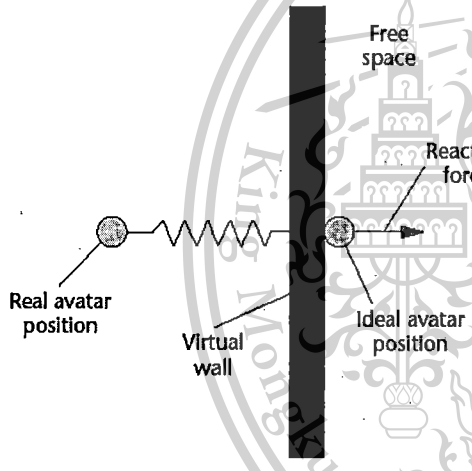


รูปที่ 2.1 รูปอุปกรณ์แฮปติกแบบต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4. การเชื่อมโยงแบบเวอร์ชวลคับปลิ่ง (Virtual Coupling Approach)

วิธีเชื่อมโยงแบบเวอร์ชวลคับปลิ่งเสมือนจริง [XXX] เป็นวิธีที่นิยมในการสะท้อนแรงเสมือนจริงที่ใช้กับเคอร์เซอร์ของแฮปติก (Haptic Cursor or Idle Avatar) จะเชื่อมต่อกับตำแหน่งจริงของมือจับแฮปติก (Haptic Handle or Real Avatar) แรงตึงเสมือนที่สร้างขึ้นโดยนิยามของสปริงเสมือนที่จะสร้างแรงดึงกลับตามระยะห่างระหว่างตำแหน่งของ Haptic Cursor และ Haptic Handle โดยแรงดึงเสมือนจะถูกส่งป้อนกลับไปบังคับมือจับของแฮปติกและไปยังมือของผู้ใช้งาน ทำให้ผู้ใช้สามารถรู้สึกได้ถึงสภาพแวดล้อมทางกายภาพได้ในระยะไกล หรือ จากสภาพแวดล้อมเสมือนที่สร้างขึ้นจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์หรือจากการสแกนของสแกนเนอร์ 3 มิติ จากสภาพแวดล้อมจริง



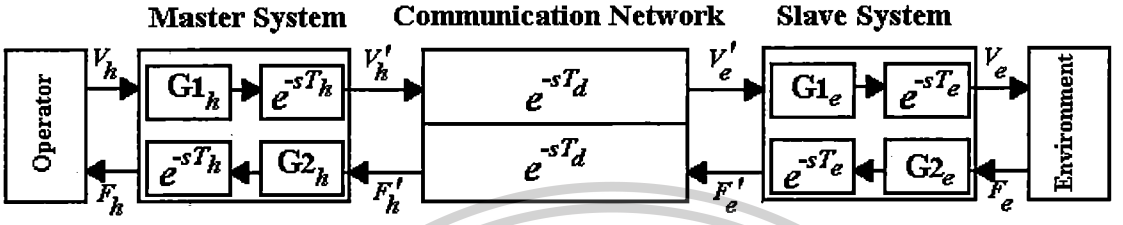
รูปที่ 2.2 ภาพแสดงวิธีเวอร์ชวลคับปลิ่ง

2.5. เวลาหน่วง (Delay Time)

การสื่อสารและเวลาหน่วงในระบบการปฏิสัมพันธ์ทางกายภาพผ่านทางเครือข่ายคอมพิวเตอร์เป็นส่วนสำคัญในการสร้างสเถียรภาพในการแสดงความถูกต้องของแรงและการเคลื่อนที่ที่สร้างจากอุปกรณ์แฮปติกโดยแรงจะต้องมีการคำนวนซ้ำ ๆ ในรอบเวลาการคำนวนไม่เกิน 1 มิลลิวินาที เพื่อให้ ผู้ที่ใช้งานรู้เสมือนได้สัมผัสของสิ่งนั้นจริง (High-Fidelity of Touch) ปัจจัยที่สำคัญอีกอย่างคือความโปรงใสของระบบ (transparency

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

of a physical interaction system) โดย ความโปรงใส (Z) เป็นตัวบงชี้ถึงเสถียรภาพของระบบซึ่งขึ้นกับเวลาหน่วง (Time Delay) ของระบบ



รูปที่ 2.3 ภาพแสดงโมเดลของระบบการปฏิสัมพันธ์ทางกายภาพผ่านทางโครงข่ายระหว่างผู้ใช้งาน a-b

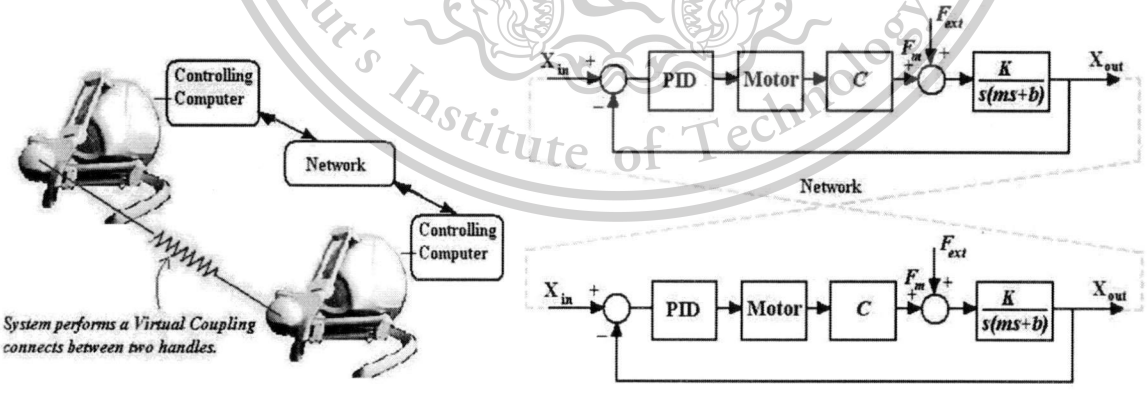
โดยในการทำงานวิจัย ได้ทำการเขียนโปรแกรมเบื้องต้นโดยอาศัยกระบวนการของ Virtual Coupling ที่ทำให้ อุปกรณ์แฮปติกสองตัวที่ได้จัดหามาแล้วนั้น สามารถเชื่อมกับคอมพิวเตอร์แบบหนึ่งต่อหนึ่ง และคอมพิวเตอร์ทั้งสองเครื่องสามารถติดต่อกันได้ผ่านทางอุปกรณ์เครือข่ายได้ ซึ่งผลที่ได้ ระบบสามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์แฮปติกสองตัวได้เป็นที่เรียบร้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3

ขั้นตอนการทำงาน

ขั้นตอนการทำงานวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงของการสร้างและทดสอบโปรแกรม และ ช่วงของงานวิจัยผลของเวลาหน่วงกับแรง โดยในงานขั้นต้นในงบปี 2555 นี้จะเป็นการสร้างและทดสอบโปรแกรม ส่วนในการวิจัยผลของเวลาหน่วงกับแรง จะทำเป็นงานต่อเนื่องไปในปี 2556 โดยไม่ได้ใช้งบประมาณเพิ่ม ในบทนี้จะกล่าวถึงตามหัวข้อต่อไปนี้ 1. การสร้างโปรแกรมแม่ข่าย (Server Software) 2. การสร้างโปรแกรมลูกข่าย (Client Software) 3. การเชื่อมโยงอุปกรณ์แฮปติก (Haptic Interfacing) 4. การทดสอบการเชื่อมโยง (Connection Testing) 5. การสอบเทียบค่าแรง (Force Calibration) 6. การวัดค่าเวลาหน่วง (Delay Time Measurement) โดยโมเดลการทำงานจากหัวข้อ 1 ถึง 3 แสดงในError! Reference source not found. และการทำงานในแต่ละข้อแสดงในรายละเอียดในหัวข้อย่อยที่ 3.1 ถึง 3.7



รูปที่ 3.1 ภาพแสดงการทำงานของซอฟแวร์ที่เชื่อมอุปกรณ์แฮปติกระหว่างผู้ใช้งาน 2 ข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

3.1. การสร้างโปรแกรมแม่ข่าย (Server Software)

โปรแกรมแม่ข่าย หรือ โปรแกรมเซิร์ฟเวอร์ เป็นโปรแกรมที่สร้างขึ้นด้วยวินซ็อก (Winsock) จาก Library ของภาษา C++ เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ในการพัฒนาโปรแกรมบนอินเตอร์เน็ต (Internet) วินซ็อกชื่อย่อของ การควบคุมซ็อกเก็ต (Socket) ของ MS Windows เชื่อมโยงกับอินเทอร์เน็ต ซึ่งจะเรียกว่า Windows Socket หรือเรียกสั้นๆว่า วินซ็อก (Winsock) โดยเครื่องมือของโปรแกรมจะใช้ในการรับส่งข้อมูล ผ่านทางหมายเลขพอร์ทของ TCP/IP ที่กำหนดในเครื่องคอมพิวเตอร์ทุกเครื่องที่ทำการเชื่อมโยงเข้ากับระบบเครือข่าย โดยโปรแกรมจะสร้างซ็อกเก็ต 1 ซ็อกเก็ตเพื่อทำงาน 1 พอร์ทของ TCP/IP

โปรแกรมเซิร์ฟเวอร์จะสร้างซ็อกเก็ตและทำการกำหนดหมายเลขพอร์ตได้ทั้งแบบตายตัวหรือเป็นแบบสุ่มหมายเลขขึ้นกับรูปแบบการตั้งค่าตามเครือข่ายที่ทำการเชื่อมต่อ ส่วนการกำหนดพอร์ทจะใช้ตัวเลขสี่หลักที่ไม่ตรงกับพอร์ทที่สงวนไว้ในมาตรฐานข้อกำหนดของ TCP/IP ports ตัวอย่างเช่น หมายเลข TCP/IP port สำหรับ FTP server คือ 21 และ สำหรับ Web server คือ 80 และ มีข้อกำหนดที่ครอบคลุม (Global Arrangement) สำหรับการเรียกใช้บริการ (Services) โดยจะมีการกำหนดหมายเลขของพอร์ตให้ตรงกับทางฝั่งลูกข่าย (ไคลเอ็นต์ : Client)

ในขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมแม่ข่ายจะประกอบด้วยกัน 3 ขั้นตอน คือ การเปิดการทำงานของซ็อกเก็ต (Creating) การเปิดรอการเชื่อมโยง (Listening) และ การตอบรับการเชื่อมโยง (Accepting)

3.1.1. การเปิดการทำงานของซ็อกเก็ต (Creating)

การเปิดการทำงานของซ็อกเก็ตมีสองขั้นตอนคือการทำ Inheritance ที่เป็นการกำหนดตัววัตถุให้เป็นตัวซ็อกเก็ตภายใต้ชื่อที่กำหนด โดยหลังจากทำการ Inheritance แล้วตัวแปรที่กำหนดจะได้รับการถ่ายทอดคุณสมบัติทั้งหมดของวัตถุ (Object) ที่ให้อย่างในที่นี้คือ CAsyncSocket เป็นซ็อกเก็ตแบบไม่สัมพัทธ์ตามช่วงเวลา และขั้นที่สองเป็นการทำการสร้างตัวซอกเก็ต (Create) และกระตุ้นการทำงานให้พร้อมทำงานและต่อเข้ากับพอร์ทที่กำหนด ซึ่งสามารถกำหนดคุณสมบัติได้ด้วยตัวเองหรือใช้ค่าตั้งต้นตามที่กำหนดมาจาก Library ได้เลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

137989

คำสั่ง : CAsyncSocket SerSock

เป็นการกำหนดให้ ตัวแปร SerSock เป็นซ็อกเก็ตจะใช้

คำสั่ง : SerSock.Create (4000);

เป็นการกำหนดพอร์ทที่ 4000 ให้กับซ็อกเก็ต SerSock โดยใช้ค่าตั้งต้นตามที่กำหนดมาจาก Library

หรือ

คำสั่ง : SerSock.Create (4000, SOCK_STREAM, FD_READ | FD_WRITE | FD_OOB | FD_ACCEPT | FD_CONNECT | FD_CLOSE);

เป็นการกำหนดพอร์ทที่ 4000 ให้กับซ็อกเก็ต SerSock เช่นกัน แต่ ตั้งค่า Event ในการการรับส่ง อ่าน ตอบรับการติดต่อ แยกกันตามที่กำหนดตามหลังค่าพอร์ท

3.1.2. การเปิดรอการเชื่อมโยง (Listening)

คำสั่ง : SerSock.Listen (0);

เป็นการสั่งให้ซ็อกเก็ตที่สรางขึ้นเปิดรับการเชื่อมโยงจากเครื่องลูกข่าย

3.1.3. การตอบรับการเชื่อมโยง (Accepting)

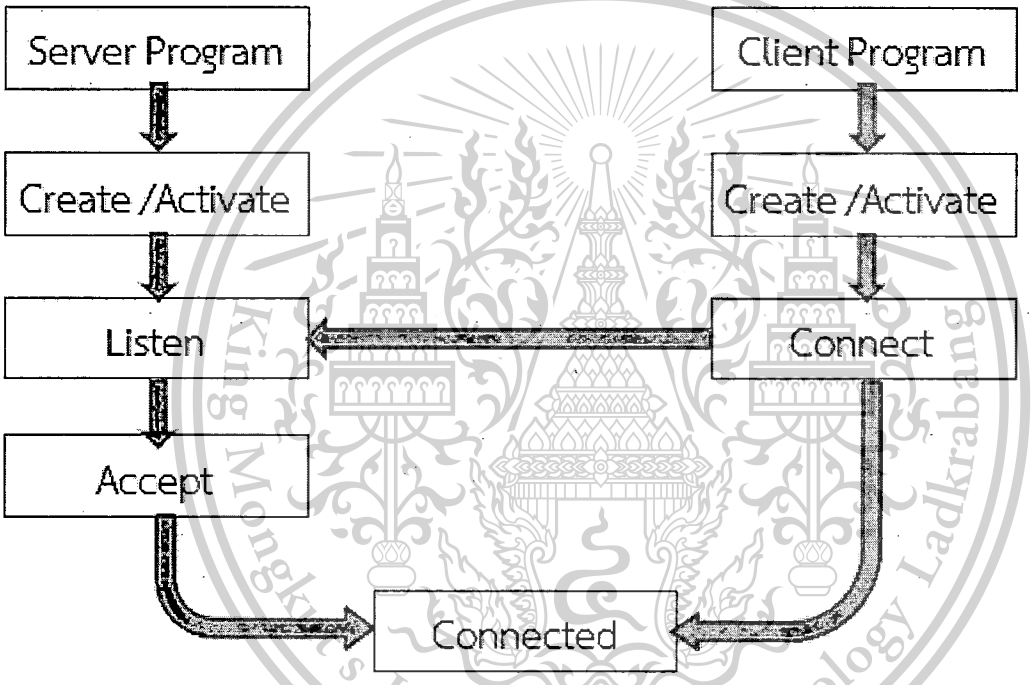
เมื่อซ็อกเก็ตที่สรางขึ้นได้รับการติดต่อจากเครื่องลูกข่ายจากการ Listen จะใช้คำสั่ง Accept ในการบอกให้ซ็อกเก็ตส่งสัญญาณตอบรับกลับไปยังเครื่องลูกข่าย

คำสั่ง : SerSock.Accept (SerSock2, NULL, NULL);

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2. การสร้างโปรแกรมลูกข่าย (Client Software)

โปรแกรมลูกข่าย หรือ โปรแกรมไคลแอนท์ เป็นโปรแกรมที่สร้างขึ้นด้วยวินซ็อก (Winsock) จาก Library ของภาษา C++ เช่นเดียวกับโปรแกรมเซิร์ฟเวอร์ ซ็อกเก็ต (Socket) จะถูกเชื่อมโยงกับเครื่องแม่ข่ายผ่านทางอินเทอร์เน็ต โดยใช้หมายเลขของ TCP/IP Address ของเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายตรงกันกับพอร์ทของ TCP/IP ที่กำหนดไว้ จึงจะเชื่อมต่อได้



รูปที่ 3.2 แผนภาพการเชื่อมโยงระหว่างเครื่องลูกข่ายกับแม่ข่าย

คำสั่ง: CAsyncSocket CliSock;

เป็นการ Inheritance เช่นเดียวกับโปรแกรมเซร์ฟเวอร์

คำสั่ง: BOOL error=CliSock.Connect ("192.168.1.21", 4000);

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เป็นการสั่งให้เครื่องลูกข่ายส่งสัญญาณติดต่อไปยังเครื่องแม่ข่ายตามหมายเลข TCP/IP Address และ พอร์ท ตามที่กำหนดอย่างเช่น address "192.168.1.21" และ port ที่ 4000 ในตัวอย่าง

3.3. การเชื่อมโยงอุปกรณ์แฮปติก (Haptic Interfacing)

การทำงานของอุปกรณ์แฮปติกเป็นลักษณะคล้าย จอยสติ๊กของเครื่องเล่นเกมส์ หรือ เมาส์คอมพิวเตอร์ ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ในพื้นที่สามมิติและมีการผนวกเอาระบบแรงป้อนกลับที่ขับด้วยเซอร์โวมอเตอร์เข้าไว้ในทุกแกน ดังนั้นเราสามารถอ่านตำแหน่งและสั่งให้แฮปติกไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้ด้วยขนาดแรงที่กำหนดไว้

คำสั่ง: Haptic.init (10);

เป็นการเริ่มการใช้งาน (Initial) อุปกรณ์แฮปติกและตั้งค่าแรงให้กับมอเตอร์ของแฮปติกที่สามารถตั้งได้ 1-100 ตัวอย่างตั้งไว้ที่ 10

คำสั่ง: GetSerServo (PositionBuffer);

เป็นการอ่านค่าตำแหน่งของมือจับแฮปติกมาในตัวแปร PositionBuffer ที่เก็บค่าตำแหน่งไว้ 3 ค่า (x , y , z) และสามารถเก็บค่าตำแหน่ง 6 ค่าได้สำหรับแฮปติก 6 แกน

คำสั่ง: SetSerServo (PositionBuffer);

เป็นการสั่งให้มือจับแฮปติกเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่กำหนดในตัวแปร PositionBuffer ทั้ง 3 ค่า (x , y , z)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.4. การเชื่อมโยง (Connecting)

การเชื่อมโยงระหว่างเครื่องแม่ข่ายและลูกข่ายหลังจากทำการติดต่อ (Connect) เครื่องคอมพิวเตอร์ทั้งสองแม่ข่ายและลูกข่ายจะเริ่มทำการส่งข้อมูลถึงกัน ข้อมูลเป็นตำแหน่งของมือจับแฮปติก โดยทั้งสองฝั่งจะรับข้อมูลตำแหน่งมาเพื่อสั่งงานให้แฮปติกในฝั่งของตัวเองเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่รับมา พร้อมกับส่งข้อมูลตำแหน่งปัจจุบันของฝั่งตัวเองกลับไปยังฝั่งตรงข้าม วงจรการรับส่งแบบดังกล่าวจะก่อให้เกิดการเชื่อมแบบเวอร์ชวลคัปปลิ้ง (Virtual Coupling)

คำสั่ง: SerSock.Send (&PositionBuffer, 30); // สำหรับ Server Program

คำสั่ง: CliSock.Send (&PositionBuffer, 30); // สำหรับ Client Program

เป็นการส่งข้อมูลตำแหน่ง (PositionBuffer) ไปยังคอมพิวเตอร์ที่ติดต่อกันอยู่ ตัวเลข 30 เป็นจำนวนอักขระหรือความยาวของตัวแปรข้อมูลสตริงที่ต้องหารส่ง

คำสั่ง: SerSock.Receive (&PositionBuffer, 30, MSG_PEEK); // สำหรับ Server Program

คำสั่ง: CliSock.Receive (&PositionBuffer, 30, MSG_PEEK); // สำหรับ Client Program

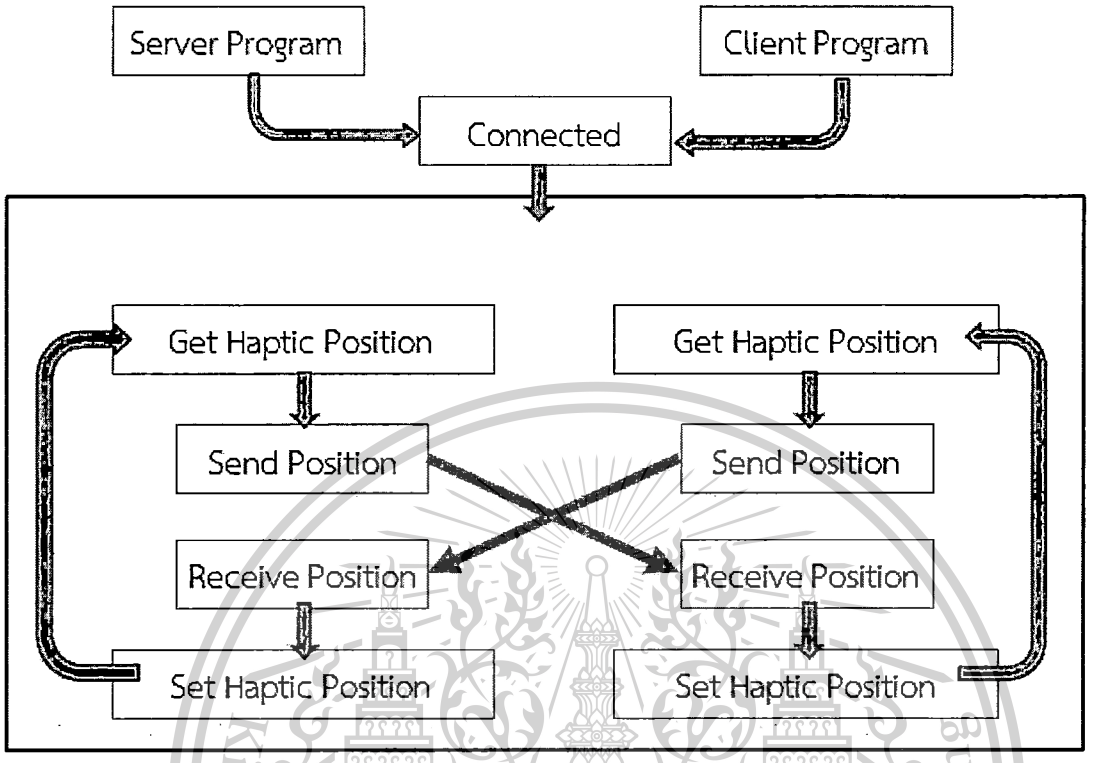
เป็นการขอดูข้อมูล (Peek) ตำแหน่ง (PositionBuffer) ในถาดรับข้อมูล (Input Buffer) ของคอมพิวเตอร์ ยาว 30 ตัวอักษรของตัวแปรข้อมูลสตริง โดยการขอดูจะไม่มีการลบข้อมูลออกจากถาดรับ

คำสั่ง: SerSock.Receive (&PositionBuffer, 30); // สำหรับ Server Program

คำสั่ง: CliSock.Receive (&PositionBuffer, 30); // สำหรับ Client Program

เป็นการอ่านข้อมูลตำแหน่งจากถาดรับข้อมูล (Input Buffer) ของคอมพิวเตอร์ ความยาว 30 ตัวอักษรมาใส่ไว้ในตัวแปร PositionBuffer พร้อมกับลบข้อมูลที่อ่านออกจากถาดรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

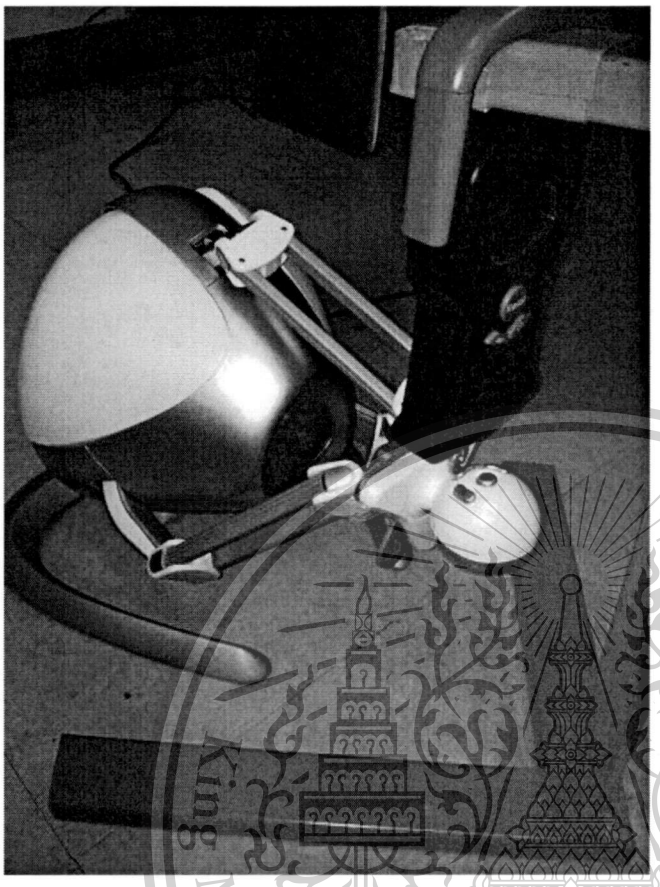


รูปที่ 3.3 แผนภาพแสดงการสื่อสารข้อมูลตำแหน่งแฮปติก

3.5. การสอบเทียบค่าแรง (Force Calibration)

การเซ็ตค่าของแรงจากคำสั่ง: Haptic.init (10) ที่เซ็ตได้จาก 1-100 จะเป็นการตั้งค่าการจ่ายกระแสให้กับมอเตอร์ที่สะท้อนถึงแรงที่มอเตอร์กระทำต่อมือผู้ใช้งาน การสอบเทียบค่าแรงจึงมีความจำเป็นต่อการทำให้แรงที่แฮปติกออกมีความแม่นยำถูกต้องกับค่าแรงจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.4 การติดตั้งอุปกรณ์ทดลองการสอบเทียบแรง

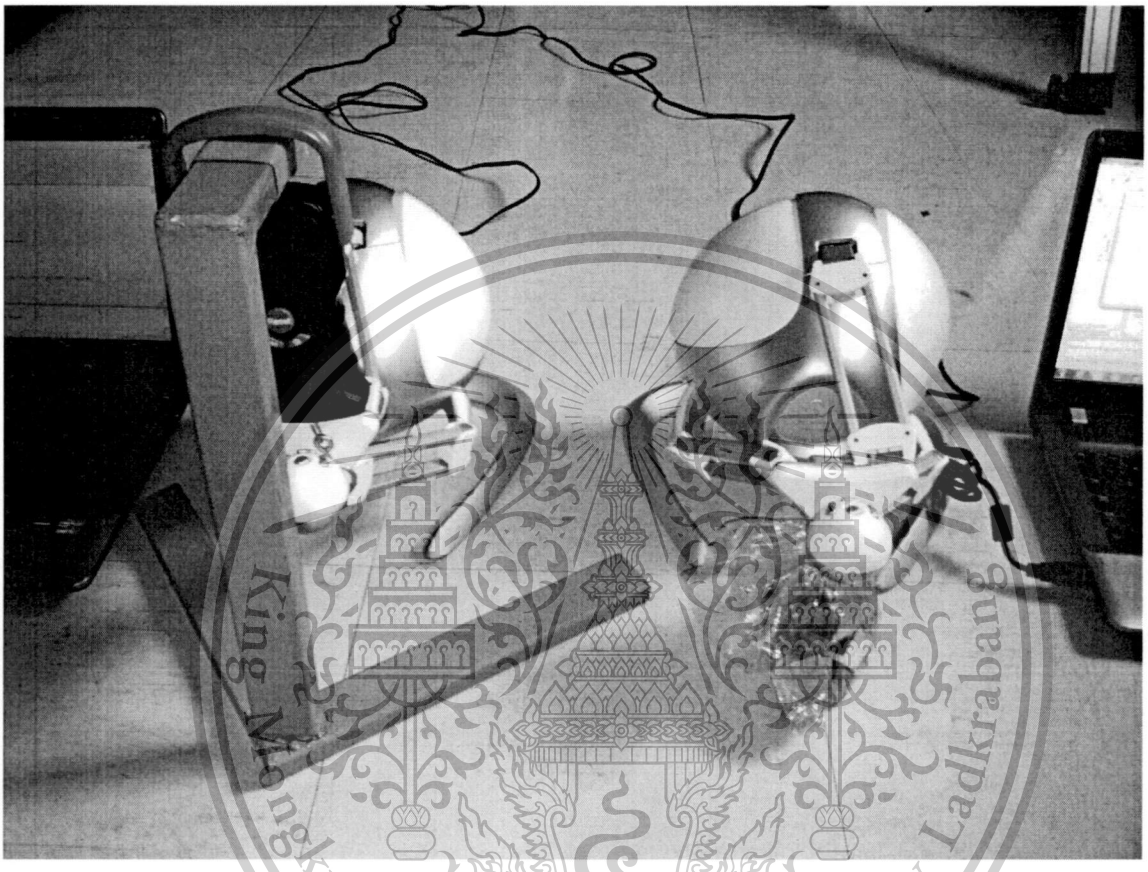
ในการทดลองการสอบเทียบจะทำการติดตั้งตัวอุปกรณ์แฮปติกกับตาชั่งดิจิตอลที่จะใช้วัดแรง ทำการป้อนค่าแรงที่ต้องการในโปรแกรมแล้วทำการบันทึกไว้เปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริงจากตาชั่งดิจิตอล โดยทำแบบเดียวกันนี้กับทั้งสามแนวแกน X-Y-Z โดยผลของการสอบเทียบสามารถดูได้ในบทที่ 4 หัวข้อที่ 4.3

3.6. การทดสอบการส่งถ่ายแรง (Force Transfer)

การทดลองเป็นการหาตัวแปรที่ไว้ใช้ในการเทียบค่าแรงสำหรับระบบแม่ข่ายและลูกข่ายในการข้อมูลตำแหน่ง การทดลองจะเป็นการป้อนน้ำหนักที่รู้ค่าหลาย ๆ ค่าโดยห้อยไว้ที่มือจับของแฮปติกในข้างแม่ข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

และ ด้าลูกข่ายจะวัดค่าแรงที่แฮปติกจ่ายออกมาด้วยตาชั่งดิจิตอลเพื่อเปรียบเทียบกัน และทำทั้ง 3 แนวแกน เช่นเดียวกับการสอบเทียบแรง



รูปที่ 3.5 แผนภาพแสดงวิธีทดลองการส่งถ่ายแรง

การเชื่อมโยงทำบนเครือข่ายไร้สายในวงเดียวกันน้ำหนักที่ใช้วัด 4 ค่าที่ 270g , 330g, 390g และ 450g โดยผลลัพย์ที่ได้แสเงในบทที่ 4 หัวข้อย่อยที่ 4.4

3.7. การวัดค่าเวลาหน่วง (Delay Time Measurement)

เป็นการหาค่าเวลาในการส่งและรับข้อมูล โดยในกระบวนการนี้จะเป็นการวัดทางอ้อม เนื่องจากการทำงานของโปรแกรมมีหลายส่วนทำงานขนานกันแบบ Multiple Thread Method การวัดจึงต้องใช้เวลาไซย์-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เคิลไทม์ (Cycle Time) แล้วเอาค่าเวลาที่ทราบมาหักออกจากไซย์เคิลไทม์เพื่อให้ได้ค่าเวลาหน่วงออกมา เวลาไซย์เคิลไทม์จะประกอบด้วย เวลาประมวลผลของแฮปติก เวลาแสดงผล เวลาการรับส่งข้อมูล

การอ่านค่าเวลาของระบบจะใช้ clock library โดยเริ่มจากการประกาศตัวแปร และ ถ่ายทอดข้อมูลเข้ามา หลังจากนั้นให้อ่านจุดเริ่มที่จะวัดเวลาด้วยคำสั้ง clock() ที่จะรีเทรินค่ากับมาเป็นคัวเลขเวลาของนาฬิกาฐานความถี่

คำสั่ง: clock_t t;

เป็นคำสั่งในการ Inheritance คุณสมบัติของ clock ให้กับตัวแปร t

คำสั่ง: t = clock();

เป็นการอ่านค่าฐานความถี่จากเวลาปัจจุบันของเครื่องคอมพิวเตอร์เข้ามเก็บในตัวแปร t

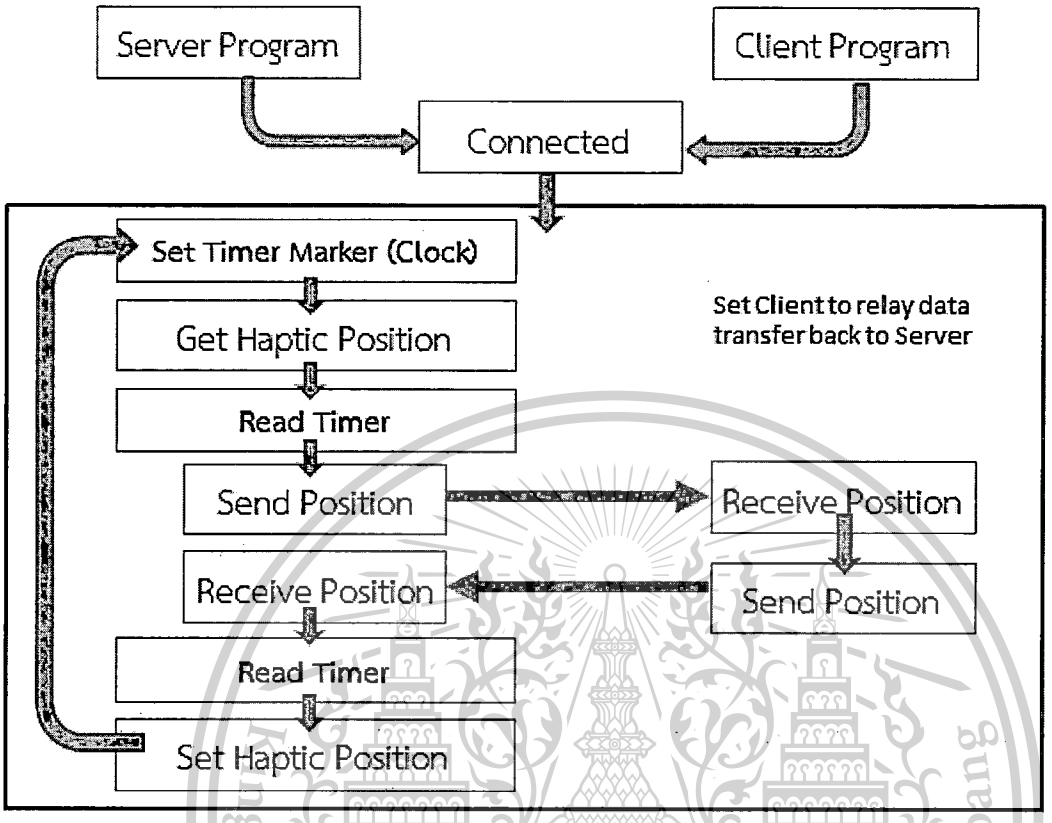
คำสั่ง: t = clock() - t;

เป็นการคำนวนค่าระยะห่างของเวลาฐานความถี่ปัจจุบันกับเวลาฐานความถี่ที่เก็บไว้ก่อนหน้าแล้วจัดเก็บในตัวแปร t อย่างเดิม

คำสั่ง: t = (float) t / CLOCKS_PER_SEC;

เป็นการแปลงค่าของ t ที่เป็นตัวเลขจำนวนสัญญาณนับเวลาให้เป็นวินาทีได้โดยใช้ค่าคงที่ของเวลาในเครื่องคอมพิวเตอร์ที่อยู่ในตัวแปร CLOCKS_PER_SEC มาทำการหารจะทำให้ได้ตัวเลขของเวลาออกมาเป็นวินาทีแล้วเก็บทับเข้าไปในตัวแปร t อีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.6 แผนภาพแสดงวิธีทดลองการหาคาบเวลาและเวลาห่วงของโปรแกรม

โดยการทดลองทำโดยการเชื่อมระบบแม่ข่ายกับลูกข่ายเข้าด้วยกัน แล้วทำการส่งสัญญาณทางแม่ข่ายไปยังลูกข่ายให้ทวนสัญญาณนั้นกลับมาทันที ทางระบบแม่ข่ายได้ทำการจับเวลาการทำงานในจุดต่าง ๆ กันอย่างที่กล่างข้างต้น ทำให้ได้ค่าเวลาออกมา ผลของการจับเวลาทั้งหมดแสดงในบทที่ 4 หัวข้อย่อย 4.2

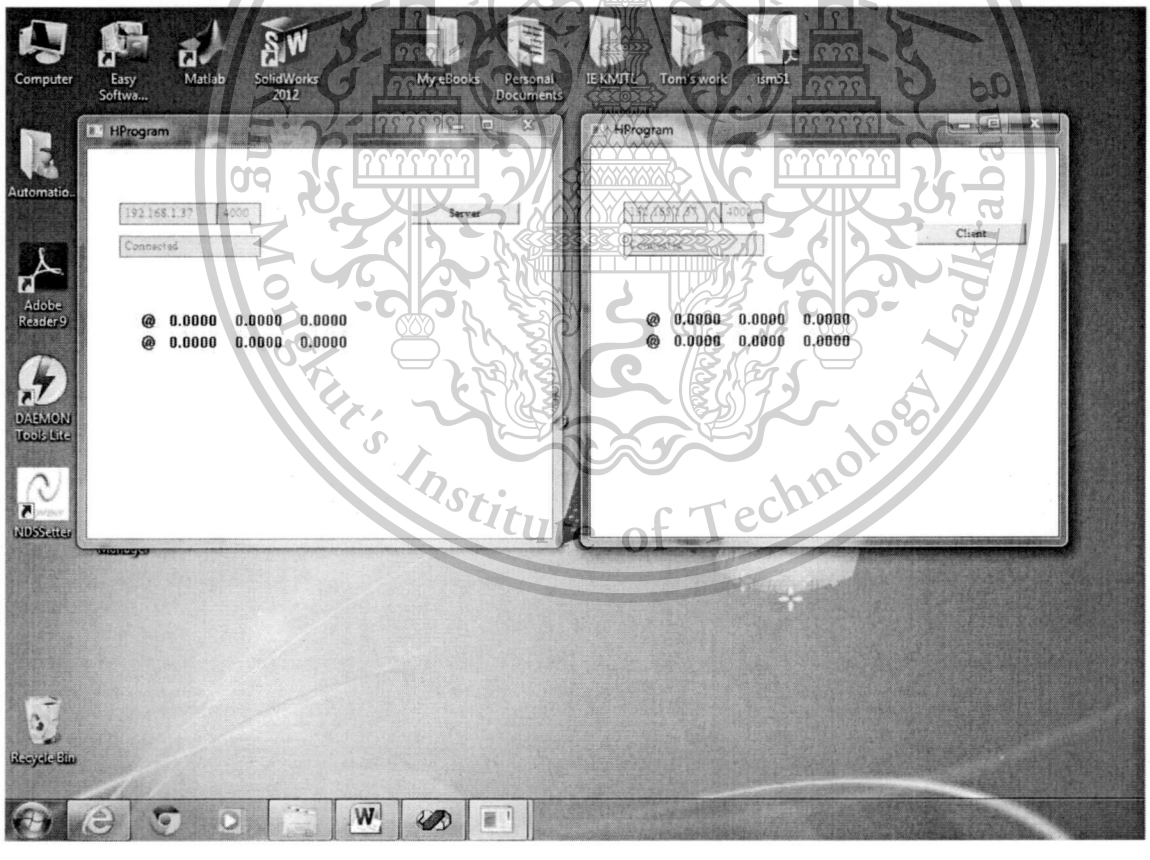
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

4.1. โปรแกรมแม่ข่ายและลูกข่าย (Server and Client Program)

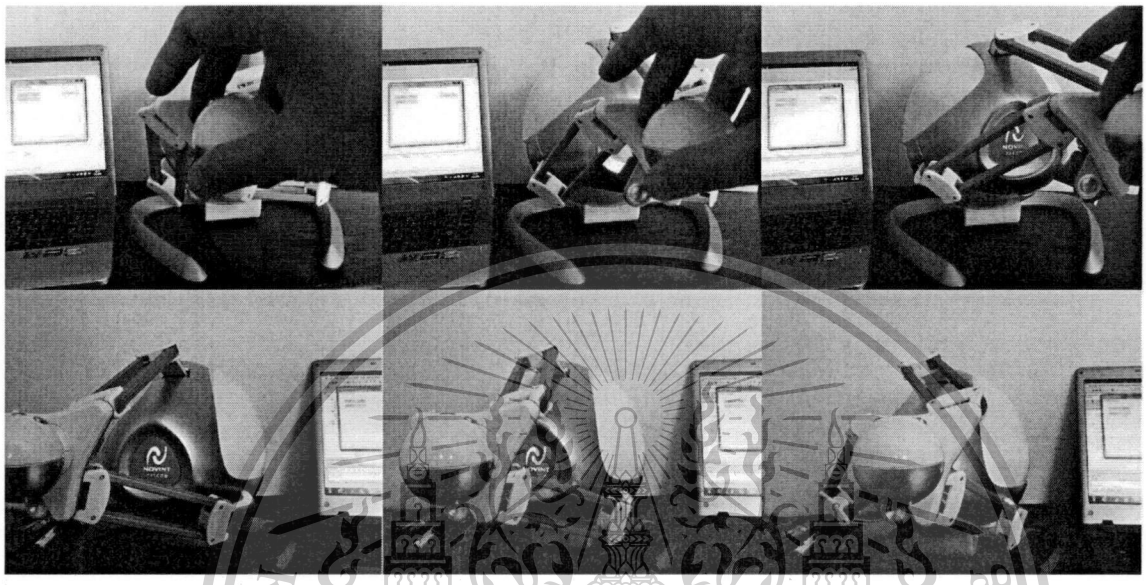
ตัวโปรแกรมทั้งด้านแม่ข่ายและลูกข่ายถูกสร้างขึ้นบนพื้นฐานของ Microsoft Windows® โดยใช้ Microsoft Virtual C++ โปรแกรมลูกข่ายสามารถรับค่าการตั้งและเก็บค่า IP Address ของเครื่องแม่ข่ายที่ติดต่อได้บนตัวโปรแกรม โดยทั้งสองระบบสามารถปรับค่าการหน่วงเวลาเพิ่มเติมได้จาก เวลาหน่วงพื้นฐานของระบบเครือข่ายที่มีอยู่แล้วได้เพื่อใช้ในการทดลองในอนาคต



รูปที่ 4.1 รูปแสดงโปรแกรมแม่ข่าย (Server Program) และ โปรแกรมลูกข่าย (Client Program)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 4.2 แสดงการทำงานของระบบทั้งหมด โดยให้ผู้ใช้บังคับมือจับของแฮปติกไปรอบ ๆ โดยมีตัวมือจับอีกข้างขยับตามไปด้วยกัน



รูปที่ 4.2 แสดงการทำงานของระบบ

4.2. ผลของการทดสอบวัดค่าเวลาหน่วง (Result of Delay Time Testing)

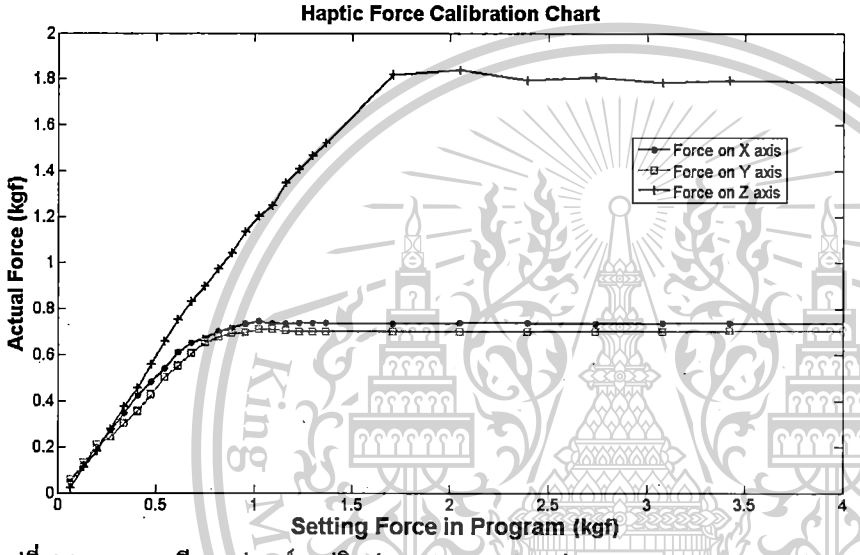
จากการทดสอบทำให้ได้ทราบค่าของเวลาประมวลผลของแฮปติก Ta = 4 มิลลิวินาที, เวลาการประมวลผลแสดงภาพ Tb = 2 มิลลิวินาที, และ เวลาหน่วงของระบบ Td = 8 มิลลิวินาที โดยที่เวลาประมวลผลของแฮปติก (Ta) และ เวลาการประมวลผลแสดงภาพ (Tb) อาจไม่เท่ากันได้ในแต่ละคอมพิวเตอร์ที่มีคุณสมบัติความเร็วที่ไม่เท่ากัน ส่วนเวลาหน่วง Td ที่เท่ากับ 8 มิลลิวินาที มาจากระบบที่อยู่บนเครื่องข่ายในวงเดียวกันและยังไม่ได้ผ่านอินเตอร์เน็ต

4.3. ผลของการสอบเทียบค่าแรง (Force Calibration Result)

พารามิเตอร์การทดสอบดังกล่าวเป็นแรงสัมผัสที่ต้องพิจารณาสำหรับการทดสอบทดลอง สำหรับการสอบเทียบแรงสัมผัส, ตาชั่งวัดแรงติดอยู่กับด้ามจับสัมผัสจะวัดค่าแรงที่อุปกรณ์แฮปติกสร้างขึ้น แรงจะถูกเพิ่มจาก 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ไปจนมอเตอร์ในอุปกรณ์แฮปติกออกแรงกระทำจนถึงขีดจำกัด โดยในงานวิจัยนี้ใช้อุปกรณ์แฮปติกของ Novint ® Falcon ในการทดลอง การสอบเทียบความแรงของอุปกรณ์แฮปติกที่ทำจะเป็นการหาความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างแรงสัมผัสที่เกิดขึ้นจริงและแรงการตั้งค่าในโปรแกรม รูปที่ 4.3 แสดงถึงอุปกรณ์ Novint ® Falcon สามารถออกแรงได้ในแกน X, Y, และแกน Z และผลของการแสดงการสอบเทียบที่แรงสูงสุดของอุปกรณ์ Novint ® Falcon คือ 0.7 กิโลกรัม ในแนวแกน x และ y และ 1.8 กิโลกรัมในแนวแกน Z



รูปที่ 4.3 การสอบเทียบอุปกรณ์แฮปติก (Novint ® Falcon)

4.4. การทดสอบการส่งถ่ายแรง (Force Transfer)

จากการทดลองการส่งถ่ายแรงโดยการใส่น้ำหนักที่ทราบค่าไปให้กับระบบที่ข้างหนึ่งและวัดค่าแรงที่แฮปติกอีกข้างจ่ายออกมา แล้วนำมาเปรียบเทียบกันได้ตามตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ส่งจากเซอร์เวอร์ไปไคลเอนท์

น้ำหนักจริงข้าง Server (g)	น้ำหนักวัดข้าง Client (g)	ค่าสรรพสิทธิ์ K_d
270	275	0.98
330	330	1
390	395	0.99
450	455	0.99
	เฉลี่ย	0.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 2 ส่งจากไคลเอนท์ไปเซอร์เวอร์

น้ำหนักจริงข้าง Client	น้ำหนักวัดข้าง Server	ค่าสรรพสิทธิ์ K_d
270	275	0.98
330	335	0.99
390	390	1
450	460	0.98
	เฉลี่ย	0.99

ผลของการทดสอบการส่งถ่ายแรงผ่านระบบ Virtual Coupling ที่มีเวลาหน่วง ค่าสรรพสิทธิ์ K_d ที่ได้ออกมามีค่าใกล้เคียง 1 จากทั้งขาไปและกลับ (Server to Client และ Client to Server) ของระบบ

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

สรุปผล

5.1. สรุปผลการทำงาน

ในงานวิจัยนี้ได้สร้างเครื่องมือสำหรับกระบวนการเชื่อมโยงทางกายภาพติดต่อผ่านทางอินเตอร์เน็ตโดยอาศัยเครื่องมือที่เรียกว่าอุปกรณ์แฮปติก ในงานวิจัยได้รวมเอากระบวนการเชื่อมโยงแบบเวอร์ชวลคัปปลิ่งเข้ากับอุปกรณ์แฮปติก ทำให้สามารถส่งถ่ายการเคลื่อนไหวและแรงกระทำไปยังผู้ใช้งานหรือสิ่งแวดล้อมทางฝั่งตรงข้ามได้

การทำงานของระบบและโปรแกรมเมื่อเวลาหน่วงสั้นกว่า 20 มิลลิวินาทีโดยประมาณ จะให้ความรู้สึกถึงการสัมผัสได้ดี แต่เมื่อเวลาหน่วงยาวกว่านั้นจะเริ่มสูญเสียการรับรู้การสัมผัสทางด้านรูปทรงหรือการปฏิสัมพันธ์ของสิ่งที่อยู่ฝั่งตรงข้าม เช่นเดียวกับการรักษาเสถียรภาพของระบบ เมื่อเวลาหน่วงยาวกว่าประมาณ 50 มิลลิวินาที ระบบจะไม่สามารถรักษาเสถียรภาพไว้ได้ การสั่นมือจับเพียงเล็กน้อยที่มือจับข้างหนึ่ง จะทำให้มือจับอีกข้างแกว่งอย่างรุนแรงและไม่สามารถควบคุมได้

5.2. งานพัฒนาต่อเนื่อง

วิจัยนี้ยังต้องการการพัฒนาที่ต่อเนื่องออกไปอีก ในทางที่จะศึกษาเสถียรภาพของระบบและการตอบสนองการสัมผัสเมื่อระบบมีเวลาหน่วงมากเนื่องจากความเร็วที่ยังไม่มากพอของระบบอินเตอร์เน็ทในปัจจุบัน การหาตัวบ่งชี้ที่จะใช้เป็นตัววัดประสิทธิภาพของระบบในด้านการสัมผัส การรับรู้ทางด้านรูปทรง และ การส่งถ่ายแรงที่แม่นยำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม/เอกสารอ้างอิง

1. V. Hayward and K. E. MacLean, 2007, 'Do It Yourself Haptics Part I', IEEE Robotics & Automation Magazine, vol. 14, no. 4, pp. 88-104.
2. K. E. MacLean and V. Hayward, 2008, 'Do It Yourself Haptics Part II', IEEE Robotics & Automation Magazine, vol. 15, no. 1, pp. 104-119.
3. K. Hashtrudi-Zaad and S. E. Salcudean, 2002, 'Transparency in Time-Delayed Systems and the Effect of Local Force Feedback for Transparent Teleoperation', IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 18, no. 1, pp. 108-115.
4. Y. Hou and G. R. Luecke, 2005, 'Time Delayed Teleoperation System Control, A Passivity-based Method', Proceedings of the 12th International Conference on Advanced Robotics (ICAR'05), pp. 796-802.
5. S. Hirche, A. Bauer and M. Buss, 2005, 'Transparency of Haptic Telepresence Systems with Constant Time Delay', Proceedings of the IEEE Conference on Control Applications, pp. 328-334.
6. K. J. Kuchenbecker and G. Niemeyer, 2006, 'Improving Telerobotic Touch Via High-Frequency Acceleration Matching', Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 3893-3898.
7. E. Slawinski, V. A. Mut and J. F. Postigo, 2007, 'Teleoperation of Mobile Robots with Time-Varying Delay', IEEE Transactions on Robotics, vol. 23, no. 5, pp. 1071-1082.
8. Q. W. Deng, Q. Wie and Z. X. Li, 'Analysis of Absolute Stability for Time-Delay Teleoperation Systems', International Journal of Automation and Computing, vol. 4, no. 2, pp. 203-207.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล นาย พลชัย โชติปรายนกุล

เพศ ☒ ชาย ☐หญิง วันเดือนปีเกิด 24 มกราคม พ.ศ.2515 อายุ 41 ปี

สถานภาพ ☐ โสด ☒ สมรส

ตำแหน่งปัจจุบัน

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
วศ.บ	วศ.อุตสาหการ	สจธ.	2536
วศ.ม	วศ.การผลิต	มจธ.	2540
PhD.	Manufacturing System Engineering	University of Technology, Sydney	2555

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) CAD/CAM, CNC, Robotic, and Automation System

รางวัลด้านวิชาการ/ด้านวิจัย/งานสร้างสรรค์ (ด้านศิลปะ หรืออื่นๆ) ที่ได้รับ

ปี พ.ศ.	ชื่อรางวัล	สถาบันที่ให้
2550	Best Student Paper Award	ISARC 2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

28th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2011), 29 June 2 July 2011, Soul, South Korea

7. P. Chotiprayanakul, D.K. Liu, and G. Dissanayake (2012), "Human–robot–environment interaction interface for robotic grit-blasting of complex steel bridges", Elsevier Automation in Construction, Vol. 27, Nov 2012, pp11-23.

การเสนอผลงานวิชาการ

ผลงานสิทธิบัตร/สิ่งประดิษฐ์/งานสร้างสรรค์ (ศิลปะ หรือ อื่นๆ)

อื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 2 ส่งจากไคลเอนท์ไปเซอร์เวอร์

น้ำหนักจริงข้าง Client	น้ำหนักวัดข้าง Server	ค่าสรรพสิทธิ์ K_d
270	275	0.98
330	335	0.99
390	390	1
450	460	0.98
	เฉลี่ย	0.99

ผลของการทดสอบการส่งถ่ายแรงผ่านระบบ Virtual Coupling ที่มีเวลาหน่วง ค่าสรรพสิทธิ์ K_d ที่ได้ออกมามีค่าใกล้เคียง 1 จากทั้งขาไปและกลับ (Server to Client และ Client to Server) ของระบบ

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.