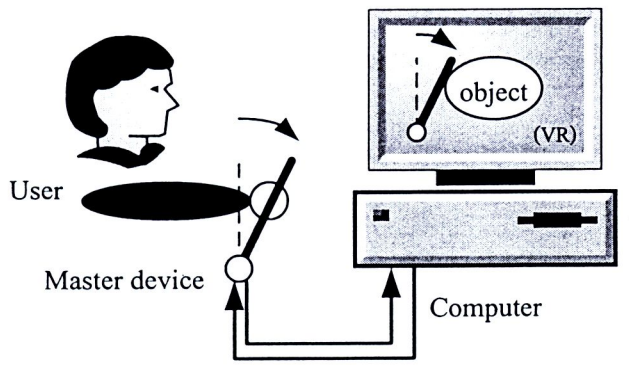
บทที่ 1
บทนำ

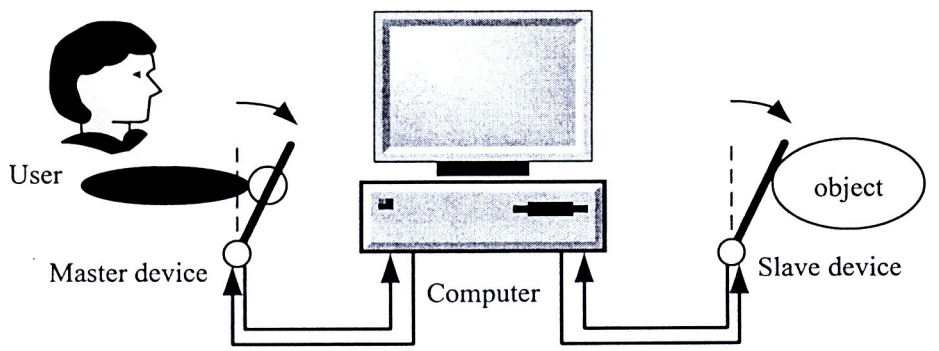
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการทำงานระยะไกลในหลาย ๆ ด้านมีบทบาทสำคัญในการสร้างเทคโนโลยีเพื่อพัฒนาศักยภาพของมนุษย์ เนื่องจากงานบางประเภทผู้เชี่ยวชาญหรือผู้ปฏิบัติงานไม่สามารถเข้าไปทำงานในสถานที่นั้น ๆ ได้โดยตรง จึงทำให้ผู้ปฏิบัติงานจำเป็นต้องปฏิบัติงานผ่านการควบคุมแขนกลมาสเตอร์ซึ่งเป็นชุดอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ในสถานที่เดียวกันกับผู้ปฏิบัติงานเพื่อใช้ควบคุมแขนกลสเลฟหรือชุดอุปกรณ์ที่ถูกติดตั้งอยู่ในอีกสถานที่หนึ่งให้ทำงานแทนผู้ปฏิบัติงานได้ซึ่งเรียกระบบนี้ว่า ระบบมาสเตอร์-สเลฟ (master-slave system) ระบบนี้จะควบคุมแขนกลสเลฟให้มีการเคลื่อนไหวลอกเลียนแบบการเคลื่อนไหวของแขนกลมาสเตอร์ที่ผู้ปฏิบัติงานทำการควบคุม ถึงแม้ว่าระบบจะมีการป้อนกลับของสัญญาณภาพและเสียงกลับมายังผู้ควบคุมให้สามารถเห็นและได้ยินเสียงขณะควบคุมระบบได้ โดยที่ระบบไม่ได้สร้างความรู้สึกสัมผัสให้เกิดขึ้นกับผู้ปฏิบัติงานขณะควบคุมระบบเมื่อแขนกลสเลฟมีการสัมผัสกับวัตถุ จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความเสียหายขึ้นกับวัตถุหรือสิ่งแวดล้อมที่ได้ตรวจพบ อย่างไรก็ตามระบบดังกล่าวเป็นจุดเริ่มต้นในการพัฒนาเทคโนโลยีสำหรับการปฏิบัติงานในระยะไกล ปัจจุบันมีการพัฒนาเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นโดยให้ระบบมาสเตอร์-สเลฟมีการป้อนกลับแรงและตำแหน่งมายังผู้ควบคุมให้สามารถรับรู้ถึงแรงและตำแหน่งในการสัมผัสขณะที่แขนกลสเลฟสัมผัสกับวัตถุหรือสิ่งแวดล้อม ซึ่งเรียกระบบที่ถูกพัฒนานี้ว่าระบบแฮปติกอินเตอร์เฟส (haptic interface system)

ระบบแฮปติกโดยทั่วไปจะมีสองลักษณะคือ การประยุกต์แฮปติกสำหรับงานด้านคอมพิวเตอร์กราฟิก หรือเทคโนโลยีเสมือนจริง (virtual reality) แสดงดังรูป 1.1 และการประยุกต์แฮปติกสำหรับการทำงานในระยะไกล (tele-operation) แสดงดังรูป 1.2 ซึ่งการประยุกต์ใช้งานระบบแฮปติกทั้งสองลักษณะนี้สามารถพบได้ในงานด้านต่าง ๆ เช่น การบันเทิง การศึกษาวิจัย การทหาร และทางการแพทย์ [10, 15, 16]



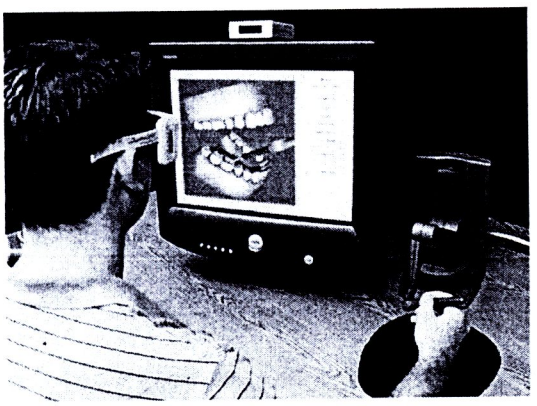
รูป 1.1 ลักษณะของระบบแฮปติกสำหรับงานด้านคอมพิวเตอร์กราฟิก (virtual reality)



รูป 1.2 ลักษณะของระบบแฮปติกสำหรับการทำงานในระยะไกล (tele-operation)

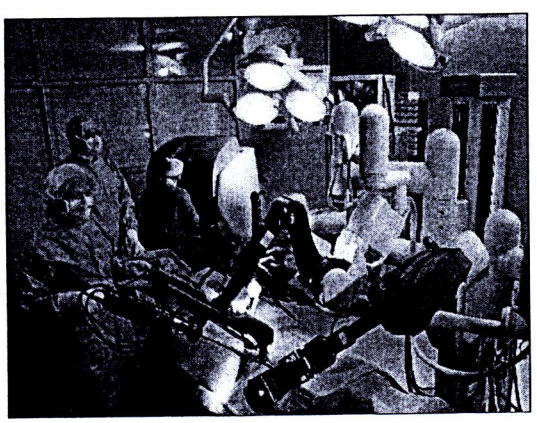
การประยุกต์แฮปติกสำหรับงานด้านคอมพิวเตอร์กราฟิก ในปัจจุบันมีความหลากหลาย สามารถพบเห็นรูปแบบการใช้งานทั้งระบบที่ทำงานเดี่ยว ๆ (stand-alone haptics) คือระบบที่มีอุปกรณ์แฮปติกหนึ่งตัวเชื่อมต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ควบคุมแล้วพัฒนาแอปพลิเคชั่นในรูปแบบกราฟิก (graphic rendering) เพื่อจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนให้เกิดขึ้นกับผู้ใช้งาน สำหรับอีกรูปแบบหนึ่งคือระบบที่ใช้งานร่วมกัน (collaborative haptics) คือระบบที่มีอุปกรณ์แฮปติกมากกว่าหนึ่งตัวเชื่อมต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ควบคุมให้ทำงานภายใต้สภาพแวดล้อมเสมือนเดียวกันได้ [2] อย่างไรก็ตามการประยุกต์ใช้งานระบบแฮปติกสำหรับคอมพิวเตอร์กราฟิก ในด้านการแพทย์ส่วนมากเป็นการใช้เพื่อช่วยฝึกความชำนาญของแพทย์ เช่น การจำลองการผ่าตัดภายในขนาดเล็ก (minimally invasive surgical simulation) หรือการจำลองการทำฟันของทันตแพทย์

(dental surgery simulation) ดังแสดงในรูป 1.3 เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อเป็นการประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการฝึกหัดแพทย์ อีกทั้งยังลดการสูญเสียและความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นกับผู้ป่วย



รูป 1.3 การใช้งานระบบแฮปติกในด้านคอมพิวเตอร์กราฟิก เพื่อฝึกหัดทันตแพทย์ [2]

อย่างไรก็ตามข้อเสียของระบบแฮปติกสำหรับงานด้านคอมพิวเตอร์กราฟิก ในด้านการแพทย์ในปัจจุบันยังคงมีปัญหาเกี่ยวกับความเหมือนจริงสำหรับการผ่าตัดของแพทย์ฝึกหัด เนื่องจากการผ่าตัดอวัยวะของมนุษย์มีความซับซ้อนอย่างมากและการสร้างแบบจำลองของสิ่งแวดล้อมเสมือนที่ได้สร้างไว้ในส่วนของคอมพิวเตอร์ควบคุมให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับเนื้อเยื่อซึ่งต้องการความยืดหยุ่นตามประเภทของอวัยวะนั้น ๆ ยังคงมีความเหมือนจริงได้ยาก ดังนั้นในปัจจุบันจึงมีการวิจัยเพื่อพัฒนาและแก้ไขปัญหาดังกล่าวมากขึ้น



รูป 1.4 การใช้งานระบบแฮปติกอินเตอร์เฟสในการผ่าตัดระยะไกล [15]

การประยุกต์ใช้ระบบแฮปติกสำหรับการทำงานในระยะไกลในทางการแพทย์จะใช้กับการผ่าตัดภายในขนาดเล็ก ดังรูป 1.4 แสดงการใช้แขนกลในการผ่าตัดภายในช่องท้องทำให้ศัลยแพทย์ทำการผ่าตัดโดยควบคุมอุปกรณ์แฮปติกด้านมาสเตอร์และให้อุปกรณ์แฮปติกด้านสเลฟทำงานแทนซึ่งต้องการเปิดแผลในการผ่าตัดขนาดเล็กกว่าการผ่าตัดโดยตรง (open surgery) ดังนั้นจึงเป็นการลดค่าใช้จ่ายและระยะเวลาในการพักฟื้นของผู้ป่วยหลังการผ่าตัด

อย่างไรก็ตามในการพัฒนาระบบแฮปติกอินเตอร์เฟสเพื่อการใช้งานนั้นยังคงต้องการการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการแก้ปัญหาเสถียรภาพที่เกิดจากความไม่แน่นอนของระบบด้วยสาเหตุต่างๆ ดังนี้ เช่น ความไม่มีคุณสมบัติแบบ passive ของสิ่งแวดล้อม ความไม่แน่นอนที่เกิดจากคุณสมบัติความไม่เป็นเชิงเส้น (non-linear) ของโครงสร้างหุ่นยนต์มาสเตอร์และหุ่นยนต์สเลฟ ความไม่แน่นอนที่เกิดจากการประวิงเวลา (time delay) ของการส่งสัญญาณควบคุมที่เชื่อมต่อระหว่างหุ่นยนต์มาสเตอร์และหุ่นยนต์สเลฟ ความไม่แน่นอนที่เกิดจากการนำไปใช้งานกับระบบเวลาไม่ต่อเนื่อง ซึ่งความไม่แน่นอนต่าง ๆ เหล่านี้ทำให้ระบบมีสมรรถนะต่ำและอาจขาดเสถียรภาพได้ งานวิจัยนี้ได้เน้นการศึกษาการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ระบบแฮปติกแบบ 1 องศาอิสระสำหรับการทำงานในระยะไกลเพื่อใช้ในการทดสอบภายใต้การสัมผัสของวัตถุที่มีความแข็งแรงที่แตกต่างกัน โดยจะศึกษาระบบแฮปติกอินเตอร์เฟสที่มีการเคลื่อนที่อย่างอิสระ (free motion) ตลอดจนมีการสัมผัสกับวัตถุที่แข็งมากขึ้นจนกระทั่งวัตถุมีลักษณะแข็งเกร็ง (hard contact) เพื่อวิเคราะห์และหาวิธีการควบคุมเบื้องต้นที่สามารถใช้ในการควบคุมระบบแฮปติกได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างอุปกรณ์แฮปติกอินเตอร์เฟส 1 องศาอิสระ

1.2.2 เพื่อศึกษาแง่มุมของเสถียรภาพและสมรรถนะของระบบแฮปติกอินเตอร์เฟส 1 องศาอิสระ

1.3 ขอบเขตการวิจัย

ออกแบบและสร้างอุปกรณ์แฮปติกอินเตอร์เฟส 1 องศาอิสระขนาดห้องปฏิบัติการที่มีกลไกการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงและศึกษาการควบคุมระบบสำหรับควบคุมมือกลให้ทำงานได้จริงอย่างน้อย 1 รูปแบบ