สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย

บทที่ 5
สรุปและวิจารณ์

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบและควบคุมระบบแฮปติกอินเตอร์เฟส 1 องศาอิสระ โดยระบบถูกควบคุมด้วยโครงสร้างการควบคุมแบบ Force-Position Bilateral Control Architecture และออกแบบตัวควบคุมแบบ PD สำหรับควบคุมอุปกรณ์แฮปติกทั้งด้านมาสเตอร์และสเลฟ พบว่าตัวควบคุมที่ได้ออกแบบทำให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีเสถียรภาพและสมรรถนะภายใต้ข้อจำกัดที่เกิดจากผลกระทบของความแข็งของสิ่งแวดล้อม จากการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่าระบบจะมีเสถียรภาพเมื่อวัตถุมีค่าความแข็งน้อยกว่า 43.3 กิโลนิวตัน/เมตร ขณะที่พิจารณาสัมประสิทธิ์ของตัวหน่วงมีค่าเป็น 0 นิวตัน-วินาที/ เมตร และเมื่อสิ่งแวดล้อมมีค่าสัมประสิทธิ์ของตัวหน่วงเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ขอบเขตของเสถียรภาพกว้างขึ้นตามไปด้วย นอกจากนั้นผลการทดสอบในบทที่ 4 ยังให้ผลที่สอดคล้องกับทฤษฎี การทดสอบได้ทดสอบระบบกับสปริงตัวอย่างที่มีค่าความแข็งต่างกันจำนวน 10 ค่า โดยมีค่าความแข็งเท่ากับ 8061.7, 12554, 19105, 22342, 31117, 41960, 44856, 53356, 65833 และ 68180 นิวตัน/เมตร ตามลำดับพบว่าเมื่อทดสอบระบบกับสปริงที่มีความแข็งมากกว่า 41960 นิวตัน/เมตร ระบบจะขาดเสถียรภาพและทำให้สมรรถนะของระบบถูกจำกัดด้วยขอบเขตของเสถียรภาพนี้ด้วย งานวิจัยนี้ได้ศึกษาวิธีการควบคุม passivity เพื่อใช้ปรับปรุงเสถียรภาพของระบบ วิธีการนี้อ้างอิงจากค่าพลังงานที่ไหลเข้าและออกจากระบบโดยถูกตรวจสอบได้จาก Passivity Observer (PO) หากค่า PO ของระบบมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ระบบจะมีคุณสมบัติเป็น passive หรือกล่าวได้ว่าระบบ dissipate energy และทำให้ระบบมีเสถียรภาพ จากการทดสอบยังพบว่าเมื่อระบบแฮปติกถูกทดสอบกับสิ่งแวดล้อมที่มีค่าความแข็งสูงมาก ๆ จะทำให้ระบบไม่มีคุณสมบัติเป็น passive ซึ่งหมายถึงระบบจะขาดเสถียรภาพ ดังนั้นระบบแฮปติกที่ได้ออกแบบจึงต้องใช้การควบคุมแบบ passivity โดยตัวควบคุมแบบ passivity (PC) ทำหน้าที่ปรับปรุงเสถียรภาพของระบบโดยการ dissipate energy ในจำนวนเท่ากับพลังงานที่ระบบสร้างขึ้นเพื่อทำให้ระบบมีเสถียรภาพ จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าตัวควบคุมแบบ passivity สามารถขยายขอบเขตเสถียรภาพของระบบที่เกิดจากผลกระทบของความแข็งของสิ่งแวดล้อมได้ โดยผู้ควบคุมสามารถรู้สึกได้ถึงการสัมผัสขณะที่ gripper ด้านสเลฟสัมผัสกับสิ่งแวดล้อม

5.2 วิจารณ์

จากการศึกษาเมื่อทดสอบระบบกับสิ่งแวดล้อมที่มีความแข็งต่ำมาก ๆ ระบบจะมีเสถียรภาพโดยไม่จำเป็นต้องมีการควบคุมแบบ passivity แต่เมื่อออกแบบโครงสร้างการควบคุมให้ระบบมีการควบคุมแบบ passivity พบว่าตัวควบคุมแบบ passivity สร้างผลกระทบให้กับระบบโดยเพิ่มค่าความหน่วงให้กับระบบซึ่งทำให้สัญญาณการติดตามของตำแหน่งการเคลื่อนที่ของแขนควบคุมด้านมาสเตอร์และ gripper ด้านสเลฟแย่ลง และเมื่อทดสอบระบบกับสิ่งแวดล้อมที่มีความแข็งมาก ๆ ตัวควบคุมแบบ passivity ไม่สามารถประกันได้ว่าระบบควบคุมจะมีเสถียรภาพเสมอไป เนื่องจากการประยุกต์ใช้การควบคุมแบบ passivity กับระบบแฮปติกมีลักษณะเป็นการควบคุมแบบ switching ทำให้ช่วงเวลาเริ่มต้นของภารควบคุมระบบจะขาดเสถียรภาพ นอกจากนั้นสำหรับงานวิจัยนี้ระบบแฮปติกอินเตอร์เฟสที่ได้ออกแบบและควบคุมไม่ได้พิจารณาผลกระทบจากสิ่งต่าง ๆ เช่น ความฝืด การประวิงเวลาของสัญญาณควบคุม และคุณสมบัติที่ไม่เป็นเชิงเส้นของระบบ ซึ่งสิ่งเหล่านี้อาจทำให้เกิดผลกระทบโดยตรงต่อเสถียรภาพและสมรรถนะของระบบได้ ในอนาคตงานวิจัยนี้สามารถนำแง่มุมของผลกระทบดังกล่าวมาศึกษาวิจัยโดยสามารถศึกษาการออกแบบการควบคุมระบบเพื่อใช้ในการควบคุมชุดอุปกรณ์แฮปติกอินเตอร์เฟสที่ได้ออกแบบเพื่อปรับปรุงเสถียรภาพและสมรรถนะของระบบต่อไปในอนาคตได้