

บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 บทสรุป

ลูกตุ้มผกผันเป็นแบบจำลองที่แสดงถึงระบบที่ไม่มีเสถียรภาพได้เป็นอย่างดี โดยในวิทยานิพนธ์นี้ ได้ออกแบบเพื่อที่ควบคุมให้ลูกตุ้มผกผันมีเสถียรภาพ โดยใช้ทฤษฎีการควบคุมแบบการควบคุมเชิงเส้น (Linear Control Theory) มาใช้ในการควบคุมระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear) ซึ่งจากทฤษฎีสามารถทำได้โดยการทำให้ระบบเป็นเชิงเส้นในช่วงแคบ ๆ โดยจะเห็นได้ว่าลูกตุ้มผกผันจะเป็นระบบที่เป็นเชิงเส้น ก็ต่อเมื่อมุมของลูกตุ้มมีค่าน้อย ๆ ทำการจำลองระบบของลูกตุ้มผกผันในรูปของสมการสเตท (State equation) โดยประกอบไปด้วย 4 สเตท

เนื่องจากลูกตุ้มผกผันเป็นระบบที่มี อินพุตเดียวสองเอาต์พุต (Single Input Two Output) ดังนั้นในการออกแบบการควบคุม โดยใช้ตัวควบคุมที่ใช้กับระบบที่มีอินพุตเดียวเอาต์พุตเดียว (Single Input Single Output) นั้นมาออกแบบจะทำได้ยาก ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงใช้การออกแบบที่ใช้กับระบบที่มีหลายอินพุตหลายเอาต์พุต (Multi Input Multi Output) โดยใช้วิธี Linear Quadratic Regulator หรือ LQR ซึ่งถือได้ว่าเป็นการควบคุมที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Control) โดยทำการป้อนกลับด้วยสเตท (State feedback) ในการออกแบบโดยใช้วิธีของ LQR จะใช้การป้อนกลับด้วยสเตท ซึ่งลูกตุ้มผกผัน มีอยู่ด้วยกัน 4 สเตท แต่วัดเพียง 2 สเตท เท่านั้น ดังนั้นก็ต้องทำการประมาณค่าของตัวแปรสเตทที่ไม่ได้วัด ซึ่งการประมาณค่าของตัวแปรสเตทจะใช้วิธี Reduce order estimator หลังจากออกแบบตัวควบคุมแล้วได้ ทำการสร้างตัวควบคุมด้วยวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ พร้อมทั้งวงจรขับเคลื่อน เพราะสัญญาณควบคุมไม่สามารถควบคุมลูกตุ้มผกผันได้โดยตรง

ในการทดสอบการควบคุมลูกตุ้มผกผัน ได้ทำการต่อตัวควบคุมที่สร้างขึ้น ผ่านวงจรขับเคลื่อน โดยได้สัญญาณที่ป้อนกลับมาทางโพเทนชิโอเมเตอร์ ซึ่งเป็นสัญญาณของตำแหน่งของตัวรถ และมุมของลูกตุ้ม ผลการทดสอบ จะเห็นได้ว่าลูกตุ้มผกผัน จะประพฤติตัวเป็นระบบที่มีเสถียรภาพได้ ไม่ว่าจะมีการรบกวนจากสัญญาณรบกวน หรือในกรณีที่จุดเริ่มต้นไม่ได้อยู่ที่จุดสมดุลก็ตาม จากการทดสอบตัวควบคุมจะทำให้ลูกตุ้มผกผันมีเสถียรภาพเสมอ เมื่อมุมของลูกตุ้มมีค่าไม่เกิน 5° และมีการตอบสนองเร็วพอควร

เหตุที่ลูกตุ้มผกผันไม่มีเสถียรภาพ เมื่อมีแรงกระทำมาก ๆ นั้นมาจากหลายสาเหตุด้วยกัน ทั้งทางด้านทฤษฎีและทางด้านปฏิบัติ โดยที่สาเหตุทางด้านทฤษฎี จะเห็นได้ว่าระบบจะไม่เป็นเชิงเส้น ถ้ามุมของลูกตุ้มมีค่ามากกว่า 5° ทำให้การควบคุมไม่ถูกต้อง และในการออกแบบไม่ได้คิดเทอมที่เกิดจากความเสียดทานเลย โดยสมมุติให้มีค่าน้อยมาก และที่สำคัญไม่ได้คิดเทอมของสัญญาณรบกวน ที่เกิดขึ้นจากภายในและภายนอกระบบเลย ทำให้สมการที่ใช้แทนระบบเป็นเพียงสมการที่ประมาณค่าเท่านั้น เหตุผลที่ไม่คิดเทอมของความเสียดทาน และเทอมของสัญญาณรบกวนนั้น ก็เพราะว่าไม่สามารถแทนในรูปของสมการที่แน่นอนได้ ส่วนในทางปฏิบัติ จะเห็นได้ว่า ระบบมีความเสียดทานเกิดขึ้นที่หลายจุดด้วยกัน ซึ่งก่อให้เกิดความผิด เช่น ความเสียดทานระหว่างตัวรถกับราง เฟืองกับสายพาน ความผิดของโพเทนชิโอเมเตอร์ เป็นต้น ซึ่งความผิดเหล่านี้ก่อให้เกิดความผิดพลาดต่อระบบได้

นอกจากปัญหาที่กล่าวมาแล้ว ยังพบว่าปัญหาอาจเกิดมาจาก ตัวควบคุม วงจรขับมอเตอร์ รวมทั้งมอเตอร์ด้วย ปัญหาที่เกิดจากตัวควบคุม เช่น การใช้ความต้านทานที่ไม่ถูกต้องตามที่ออกแบบไว้ รวมไปถึงการใช้ออฟเซตที่มี Offset voltage สูงเกินไป ส่วนปัญหาที่เกิดจากวงจรขับมอเตอร์ คือ อัตราขยายทางด้านบวกกับทางด้านลบไม่เท่ากันนัก ทำให้การหมุนของมอเตอร์ทั้งสองด้านไม่เท่ากัน ส่วนปัญหาที่เกิดกับมอเตอร์ คือ ค่า deadband ของมอเตอร์ เป็นค่าของแรงดันที่สามารถทำให้มอเตอร์หมุนได้ ซึ่งก่อให้เกิด ค่าผิดพลาดสมดุล (Steady state error) ได้

อย่างไรก็ตามวัตถุประสงค์หลักของวิทยานิพนธ์นี้ ไม่ได้อยู่ที่ว่าทำอย่างไรที่จะไม่ให้ลูกตุ้มล้ม แต่อยู่ที่ สามารถนำทฤษฎีการควบคุม มาใช้ในการควบคุมระบบในทางปฏิบัติได้อย่างไร และสามารถนำความรู้ที่ได้จากทำวิทยานิพนธ์ นำไปประยุกต์ใช้กับการควบคุมระบบอื่น ๆ ได้ โดยในวิทยานิพนธ์นี้ ได้เสนอวิธีการออกแบบระบบควบคุมทั้งทางด้านทฤษฎี และปฏิบัติ ซึ่งสามารถทำให้ผู้ที่สนใจ สามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับระบบที่มีความซับซ้อนน้อยกว่าได้เป็นอย่างดี ตลอดจนเป็นพื้นฐานในการศึกษาการควบคุมระบบที่ซับซ้อน และต้องการความละเอียดสูงมากกว่านี้ได้เป็นอย่างดี

6.2 ข้อเสนอแนะ

ปัญหาที่สำคัญในการทำการควบคุมลูกตุ้มผกผัน ไม่ได้อยู่ที่ว่า จะใช้วิธีการใดในการควบคุมที่จะควบคุมลูกตุ้มผกผันได้ แต่อยู่ที่ว่าแบบจำลองของลูกตุ้มผกผัน ไม่มีความถูกต้องมากพอเมื่อเปรียบเทียบกับทางทฤษฎี เช่น ไม่สามารถลดความผิดที่เกิดขึ้นกับระบบได้เท่าที่ควร ปัญหาที่

เกิดจากการสั่นสะเทือนในขณะที่ทำการควบคุม ซึ่งก่อให้เกิดสัญญาณรบกวน ดังนั้นในการสร้างแบบจำลองควรจะทำให้มีความผิดพลาดที่น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ และมีชุดขับเคลื่อนที่มีความเชื่อถือได้สูง อีกทั้งเครื่องมือวัดตำแหน่งของตัวรถ และมุมของลูกตุ้ม ควรจะมีความผิดพลาดที่น้อย และมีความถูกต้องพอสมควร

จะเห็นได้ว่าการควบคุมในวิทยานิพนธ์นี้เป็นการควบคุมแบบอนาล็อก (Analog control) ซึ่งก่อให้เกิดความผิดพลาดได้ง่าย โดยการออกแบบควบคุมด้วยวิธี LQR สามารถประยุกต์ใช้กับการควบคุมแบบดิจิทัล (Digital control) ได้ ซึ่งจะทำให้ความผิดพลาดของการควบคุมน้อยลง ทำให้ประสิทธิภาพการควบคุมสูงขึ้น หรืออาจทดลองใช้การควบคุมวิธีอื่น ๆ เช่น การใช้ทฤษฎีการควบคุมแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear control) หรือ การใช้ฟัซซีโลจิก (Fuzzy logic control) มาทำการทดสอบเปรียบเทียบ เพื่อแสดงถึงข้อดีข้อเสียของการควบคุมแต่ละตัวก็ได้

การควบคุมลูกตุ้มผกผัน เป็นการควบคุมที่ยากพอสมควร การที่จะทำให้ผลการควบคุมที่สมบูรณ์หรือย่อบ่อยขึ้นทำได้ยาก เพราะต้องใช้ความรู้ในการวิเคราะห์ละเอียดมาก อีกทั้งต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง เช่น การทำแบบจำลองให้สมบูรณ์ เป็นไปได้ยากเพราะติดขัดทางด้านเครื่องมือ อีกทั้งเครื่องมือวัดที่มีความละเอียดสูง ก็ราคาแพง หรือหาซื้อได้ลำบาก ซึ่งอาจจะทำให้เสียเงินทุนเสียเวลา และกำลังใจ เป็นอย่างมาก