บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอ การปรับปรุงวิธีออกแบบตัวควบคุมชนิดปรับตัวเองโดยตรงที่ใช้คุณสมบัติแพสซีฟของแขนหุ่นยนต์ โดยผู้ใช้งานจะกำหนดลักษณะของการทำงานที่ต้องการผ่านค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละพจน์ในดรรชนีสมรรถนะ หลังจากนั้นการคำนวณโดยใช้วิธีโปรแกรมพลวัตจะช่วยให้เราสามารถออกแบบตัวควบคุมได้เหมาะสมที่สุดกับลักษณะของงาน

จุดประสงค์ของการนำเสนอการปรับปรุงดังกล่าว เพื่อแก้ปัญหาอันเกิดจากการที่ต้องเลือกกำหนดค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม การกำหนดค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมให้เหมาะสมกับลักษณะของงานด้วยตัวเองเป็นเรื่องที่ค่อนข้างยาก เนื่องจากมีพารามิเตอร์ที่ต้องได้รับการกำหนดค่าอยู่หลายตัว แต่ละตัวมีผลกระทบต่อการทำงานในลักษณะที่ต่างกัน ด้วยเหตุนี้วิธีที่สามารถคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมให้สอดคล้องกับลักษณะของการทำงาน จึงเป็นหนทางที่ดีที่จะช่วยลดความยุ่งยากในการออกแบบตัวควบคุม

นอกจากนี้เรายังพิสูจน์ได้ว่า ตัวควบคุมที่ออกแบบตามวิธีที่ปรับปรุงขึ้นใหม่มีเสถียรภาพในการทำงานในวงกว้าง การพิสูจน์หาเสถียรภาพการทำงานโดยใช้ทฤษฎีบทเสถียรภาพของเลียปูโนฟแสดงให้เห็นว่า ค่าความผิดพลาดของตำแหน่งและความเร็วจะค่อย ๆ ลู่เข้าหาศูนย์ในที่สุด

<u>ข้อสรุปจากผลการจำลองการทำงาน</u>

การจำลองการทำงานเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ตรวจสอบสภาพการทำงานของตัวควบคุม เพื่อตรวจเช็คว่าผลการทำงานเป็นไปตามที่ได้คำนวณไว้หรือไม่ จากผลการทำงานซึ่งได้มาจากการจำลองการทำงานด้วยเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ และได้แสดงไว้ในบทที่ 4 เราสรุปได้ว่า

1. <u>กรณีที่ตัวควบคุมรู้ค่าพารามิเตอร์ระบบของแขนหุ่นยนต์</u>

เมื่อกำหนดค่าเริ่มต้นของค่าประมาณของพารามิเตอร์ระบบให้ตรงกับค่าจริง ผลของการทำงานแสดงให้เห็นว่า ค่าความผิดพลาดของตำแหน่งและความเร็วจะมีค่าเป็นศูนย์ กฎการปรับค่าประมาณของพารามิเตอร์ระบบก็จะหยุดนิ่ง ค่าประมาณของพารามิเตอร์ระบบก็จะคงอยู่ที่ค่าเริ่มต้น แม้ว่าในช่วงท้าย ๆ ของการจำลองการทำงานจะดูเหมือนว่า มีค่าความผิดพลาดของตำแหน่งและความเร็วเกิดขึ้น แต่เนื่องจากความผิดพลาดที่สังเกตเห็นนั้นมีค่าน้อยมาก และจะเปลี่ยนลักษณะไปถ้าหากเราเปลี่ยนค่ารายคาบของการ

คำนวณ ดังนั้นเราจึงพิจารณาว่า เป็นผลที่เกิดจากความผิดพลาดสะสมอันเนื่องมาจากการคำนวณเพื่อจำลองการทำงาน

ด้วยเหตุนี้เราจึงสรุปได้ว่า เมื่อใดก็ตามที่ค่าประมาณของพารามิเตอร์ระบบปรับมาจนเท่ากับค่าจริง กฎการปรับตัวก็จะหยุดตัวเอง และค่าความผิดพลาดต่าง ๆ จะเป็นศูนย์ตลอดไป

2. <u>กรณีที่ตัวควบคุมไม่รู้ค่าพารามิเตอร์ระบบของแขนหุ่นยนต์</u>

เมื่อเราสมมุติว่าตัวควบคุมไม่รู้ค่าพารามิเตอร์ระบบของแขนหุ่นยนต์มาก่อน โดยการกำหนดให้ค่าเริ่มต้นของค่าประมาณของพารามิเตอร์ระบบเป็นศูนย์ เราพบว่าค่าความผิดพลาดทั้งของตำแหน่งและความเร็วจะลดลงเรื่อย ๆ เมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งเป็นไปตามการพิสูจน์หาเสถียรภาพการทำงานของตัวควบคุม

ในการปรับค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละพจน์ในดรรชนีสมรรถนะ ผลของการทำงานซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนค่าถ่วงน้ำหนักก็ได้แสดงให้เห็นว่า มีความสอดคล้องกับแนวคิดของการออกแบบตัวควบคุมชนิดปรับตัวเองโดยตรงที่เหมาะที่สุด เราสามารถกล่าวสรุปลักษณะของผลการทำงานที่ได้มาดังนี้

2.1 <u>ผลของการใช้ค่าถ่วงน้ำหนักชุดแรก</u> เราพบว่าให้ผลการทำงานในระดับหนึ่งที่น่าพอใจ แต่ความแม่นยำของการทำงานอาจจะแตกต่างกันไปบ้าง ถ้าระบบที่ควบคุมเป็นแขนหุ่นยนต์ต่างประเภทกัน

2.2 <u>ผลของการใช้ค่าถ่วงน้ำหนักชุดที่สอง</u> เมื่อกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักในพจน์ของค่าความผิดพลาดของตำแหน่งน้อยลง เมื่อเทียบกับค่าถ่วงน้ำหนักของพจน์อื่น ๆ ผลของการทำงานแสดงให้เห็นว่าค่าความผิดพลาดของตำแหน่งมีขนาดสูงขึ้น

2.3 <u>ผลของการใช้ค่าถ่วงน้ำหนักชุดที่สาม</u> เมื่อกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักในพจน์ของค่าความผิดพลาดของความเร็วน้อยลง เมื่อเทียบกับค่าถ่วงน้ำหนักของพจน์อื่น ๆ ผลของการทำงานแสดงให้เห็นว่าค่าความผิดพลาดของความเร็วมีขนาดสูงขึ้น

2.4 <u>ผลของการใช้ค่าถ่วงน้ำหนักชุดที่สี่</u> เมื่อกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักในพจน์ของสัญญาณควบคุมมากขึ้น เมื่อเทียบกับค่าถ่วงน้ำหนักของพจน์อื่น ๆ เราพบว่าความผิดพลาดทั้งของตำแหน่งและความเร็วมีขนาดสูงขึ้น ส่วนขนาดของสัญญาณควบคุมดังกล่าวนั้นจะมีค่าลดลง

นอกจากนี้เรายังสรุปได้ว่า ตัวควบคุมที่ออกแบบตามวิธีที่ปรับปรุงขึ้นใหม่นี้ให้ผลการทำงานที่เหมาะสมที่สุดต่อดรรชนีสมรรถนะที่กำหนดขึ้นเสมอ โดยไม่ขึ้นกับลักษณะทางโครงสร้างของแขนหุ่นยนต์

ข้อสังเกตจากผลการจำลองการทำงาน

จากผลการทำงานของตัวควบคุมที่ได้จากการจำลองการทำงานเราพบว่า มีลักษณะที่น่าสนใจอยู่หลายเรื่องที่น่าสนใจและควรจะบันทึกไว้ ข้อสังเกตดังกล่าวอาจจะเป็นประโยชน์ในภายหลังต่อผู้สนใจที่ต้องการศึกษาและค้นคว้าต่อไป

1. จากผลการจำลองการทำงานในกรณีที่ 2 เมื่อเราใช้ค่าถ่วงน้ำหนักชุดที่สองในการออกแบบตัวควบคุม ค่าความผิดพลาดที่เพิ่มขึ้นในผลการทำงานมักจะเกิดขึ้นกับข้อต่อที่ได้รับผลกระทบโดยตรงจากแรงโน้มถ่วงของโลก ลักษณะเช่นนี้อาจจะหมายถึงว่า แรงโน้มถ่วงของโลกเป็นปัจจัยสำคัญอันหนึ่งที่ทำให้เกิดค่าความผิดพลาดในการทำงาน

2. จากการทดลองเปลี่ยนค่าถ่วงน้ำหนักของดรรชนีสมรรถนะที่ใช้ในการออกแบบตัวควบคุม เราพบว่าการลดค่าถ่วงน้ำหนักในพจน์ของความผิดพลาดของตำแหน่ง มีผลกระทบน้อยมากต่อความแม่นยำในการติดตามค่าความเร็วที่ต้องการ ในทางกลับกันการลดค่าถ่วงน้ำหนักในพจน์ของความผิดพลาดของความเร็ว มีผลกระทบอย่างรุนแรงต่อความแม่นยำในการติดตามค่าตำแหน่งที่ต้องการ ดังนั้นในกรณีของการลดค่าถ่วงน้ำหนักในพจน์ของความเร็ว การที่เราจะคงค่าความผิดพลาดของตำแหน่งให้เท่าเดิมในขณะที่ความผิดพลาดของความเร็วเพิ่มขึ้น เราต้องเพิ่มค่าถ่วงน้ำหนักในพจน์ของความผิดพลาดของตำแหน่งให้มากขึ้นกว่าเดิมไปพร้อม ๆ กัน ดังที่เราใช้ในการจำลองการทำงาน

ดังนั้นการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละพจน์ในดรรชนีสมรรถนะเพื่อใช้ในการออกแบบตัวควบคุมควรจะมีขั้นตอนดังนี้ หลังจากกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักทุกค่าอย่างคร่าว ๆ แล้ว ปรับค่าถ่วงน้ำหนักในพจน์ของความผิดพลาดของความเร็วก่อน ตรวจสอบผลการทำงานจนแน่ใจว่า เราพอใจต่อความแม่นยำของการติดตามความเร็วที่ต้องการแล้ว หลังจากนั้นจึงเริ่มปรับค่าถ่วงน้ำหนักในพจน์ของความผิดพลาดของตำแหน่ง ตรวจสอบผลการทำงานให้แน่ใจว่า ค่าความผิดพลาดของตำแหน่งที่เกิดขึ้นอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ขั้นตอนสุดท้ายคือ การปรับค่าถ่วงน้ำหนักในพจน์ของสัญญาณควบคุม โดยสังเกตขนาดของสัญญาณควบคุมจนมั่นใจว่าไม่มากจนเกินไป หรือไม่น้อยมากจนค่าความผิดพลาดในการติดตามเส้นทางการเคลื่อนที่มีขนาดสูงเกินไป

ข้อเสนอแนะ

จากภาคผนวก ข เราพบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์หรือสมการสถานะของแขนหุ่นยนต์ ที่ใช้พิสูจน์หาเสถียรภาพการทำงานของตัวควบคุม หรือใช้ในการจำลองการทำงาน มีลักษณะเดียวกันกับที่ใช้ใน

การออกแบบตัวควบคุม แต่ในทางปฏิบัติ ระบบจริงของแขนหุ่นยนต์อาจจะมีลักษณะบางอย่างที่แตกต่างกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ออกแบบตัวควบคุม สาเหตุก็อาจจะเนื่องมาจากว่า ถ้าใช้รายละเอียดทั้งหมดของระบบจริงมาออกแบบตัวควบคุม ตัวควบคุมที่ได้จะต้องมีภาระในการคำนวณมากขึ้น ใช้เวลาในการคำนวณมากขึ้น หรืออาจจะเป็นเพราะว่า เราไม่สามารถเก็บรายละเอียดของระบบจริงลงในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ทั้งหมด

ดังนั้นจุดสนใจที่น่าจะค้นคว้าต่อไปก็คือ ตัวควบคุมชนิดปรับตัวเองโดยตรงที่เหมาะที่สุดซึ่งคำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ไม่สมบูรณ์ (imperfect mathematical model) จะสามารถควบคุมระบบจริงได้อย่างมีเสถียรภาพหรือไม่ หรือถ้าจะต้องดัดแปลงแก้ไขตัวควบคุมให้สามารถรักษาเสถียรภาพในการทำงานเราจะทำได้หรือไม่ อย่างไร แนวคิดดังกล่าวนำไปสู่การวิเคราะห์ความสามารถในการรักษาเสถียรภาพการทำงานของตัวควบคุม แม้ว่าจะพบกับลักษณะของระบบจริงที่ไม่ได้คาดคิดล่วงหน้า (robustness analysis) เราเรียกตัวควบคุมชนิดปรับตัวเอง ที่มีการดัดแปลงให้สามารถจัดการกับความไม่สมบูรณ์ของแบบจำลองเชิงเลขว่า ตัวควบคุมชนิดปรับตัวเองแบบมั่นคง (robust adaptive controller) (Ioannou และ Datta, 1991)

ในกรณีของแขนหุ่นยนต์ ลักษณะของระบบที่มักจะตัดออกจากการพิจารณาในขณะที่ออกแบบตัวควบคุม ได้แก่ ความยืดหยุ่นในข้อต่อ (elasticity in joints) ความอ่อนตัวของลิงค์ (flexibility of links) และลักษณะทางพลวัตของมอเตอร์ (dynamic behavior of motors)