บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ในการออกแบบตัวควบคุม สิ่งแรกที่ต้องปฏิบัติคือเลือกแบบจำลองเพื่อใช้แทนพลานต์ แบบจำลองที่ใช้แทนพลานต์นั้นมีอยู่หลายแบบ ส่วนใหญ่มักเลือกใช้แบบจำลองเชิงเส้น (linear model) เนื่องจากมีทฤษฎีที่ใช้วิเคราะห์เสถียรภาพและสมรรถนะของระบบเชิงเส้นมากมาย ส่วนแบบจำลองไม่เชิงเส้น (non-linear model) ถึงแม้ใช้แทนพลานต์ได้เกือบทุกประเภทและครอบคลุมช่วงการทำงานเกือบทุกช่วง แต่การหาเอกลักษณ์ของระบบและการออกแบบตัวควบคุมทำได้ยากกว่าแบบจำลองเชิงเส้น ในทางปฏิบัติจึงนิยมเลือกใช้แบบจำลองเชิงเส้น การเลือกใช้แบบจำลองเชิงเส้นแทนพลานต์ จำเป็นต้องประมาณพลานต์ไม่เชิงเส้นให้เป็นพลานต์เชิงเส้นก่อน ในกรณีที่พลานต์ไม่เชิงเส้นนั้นมีช่วงการทำงานที่ไม่เป็นเชิงเส้นไม่มากนักสามารถแทนพลานต์ด้วยแบบจำลองเชิงเส้นที่ได้จากการทำให้เป็นเชิงเส้นรอบจุดทำงานนั้นๆเพียงจุดเดียว แต่หากพลานต์มีช่วงการทำงานที่มีความไม่เป็นเชิงเส้นมาก ในบางกรณีสามารถแทนพลานต์ด้วยแบบจำลองเชิงเส้นได้ โดยกำหนดจุดทำงานเพิ่มขึ้นจนครอบคลุมช่วงการทำงานทุกช่วง แล้วทำให้เป็นเชิงเส้นรอบจุดทำงานทุกๆจุด แบบจำลองที่ได้ประกอบด้วยแบบจำลองเชิงเส้นจำนวนหนึ่ง และมีตัวแปรชุดหนึ่งเป็นตัวกำหนดว่า ณ เวลานั้นๆควรใช้แบบจำลองเชิงเส้นตัวใด

จากแนวคิดดังกล่าว ต่อมาจึงมีการทำให้เป็นเชิงเส้นรอบจุดทำงานจำนวนมากขึ้นจนเป็นฟังก์ชันแบบจำลองที่ได้เป็นแบบจำลองเชิงเส้นที่พารามิเตอร์ของแบบจำลอง เป็นฟังก์ชันของตัวแปรชุดหนึ่ง [1], [2] ซึ่งสามารถพิจารณาเป็นแบบจำลองที่มีความไม่แน่นอน (uncertain model) หรือแบบจำลองเชิงเส้นที่ เปลี่ยนแปลงตามพารามิเตอร์ก็ได้ (linear parameter varying model) โดยขึ้นอยู่กับว่าสามารถวัดค่าของตัวแปรนั้นได้หรือไม่ หากไม่สามารถวัดค่าได้จะเป็นแบบจำลอง ที่มีความไม่แน่นอน โดยมีตัวแปรนั้นเป็นความไม่แน่นอนของระบบ (system uncertainty) แต่หากตัวแปรนั้นสามารถวัดค่าได้ทั้งหมดและพารามิเตอร์เป็นฟังก์ชันเชิงเส้น ของความไม่แน่นอน จะเรียกแบบจำลองชนิดนี้ว่าแบบจำลองเชิงเส้นที่เปลี่ยนแปลงตามพารามิเตอร์ และตัวแปรที่วัดค่าได้นี้จะเรียกว่าตัวแปรกำหนด (scheduling variable) ในกรณีที่ไม่สามารถวัดค่าได้ทั้งหมดจะพิจารณาเป็นแบบจำลองเชิงเส้นที่มีความไม่แน่นอน หรือแบบจำลองเชิงเส้นที่เปลี่ยนแปลงตามพารามิเตอร์ที่มีความไม่แน่นอนก็ได้ แบบจำลองนี้สามารถใช้ทฤษฎีของระบบเชิงเส้นได้และก็สามารถแทนพลานต์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นบางชนิดได้ด้วย

ในกรณีที่พารามิเตอร์อยู่ในรูปของการแปลงส่วนย่อยเชิงเส้น (linear fraction transformation, LFT) กับความไม่แน่นอนหรือตัวแปรกำหนดของระบบ ปัญหาการออกแบบจะเป็นปัญหาการหาตัวควบคุมคงทน (robust controller synthesis) ซึ่งมีวิธีการออกแบบตัวควบคุมหลายวิธี วิธีหนึ่งที่เหมาะสำหรับปัญหานี้คือการควบคุมแบบเอชอินฟินิตี้ ($\mathcal{H}_\infty$ control) ซึ่งเป็นวิธีการหาตัวควบคุมที่ทำให้ระบบที่มีความ

ไม่แน่นอนแบบไม่มีโครงสร้าง (unstructured uncertainty) มีเสถียรภาพ นอกจากนี้ปัญหาการหาตัวควบคุมเอชอินฟินิตี้ยังเป็นปัญหาคอนเวกซ์ และสามารถจัดให้อยู่ในรูปของอสมการเมทริกซ์เชิงเส้น (linear matrix inequalities) ได้ [3]

เนื่องจากการควบคุมระบบที่มีความไม่แน่นอนโดยทั่วไป ความไม่แน่นอนถูกพิจารณาเป็นสิ่งที่ไม่สามารถวัดค่าได้ แต่ในแบบจำลองเชิงเส้นที่เปลี่ยนแปลงตามพารามิเตอร์ ตัวแปรกำหนดสามารถวัดค่าได้ทั้งหมด ดังนั้นจึงสามารถใช้ประโยชน์จากการวัดค่าตัวแปรกำหนด โดยให้ตัวควบคุมมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ตามตัวแปรกำหนดของพลานต์ ซึ่งทำให้ความไม่แน่นอน (ตัวแปรกำหนดของพลานต์และตัวแปรกำหนดของตัวควบคุม) เป็นความไม่แน่นอนที่มีโครงสร้าง การใช้ตัวควบคุมแบบเอชอินฟินิตี้จึงเกิดความอนุรักษ์ขึ้น ซึ่งสามารถลดความอนุรักษ์ลงได้โดยใช้เมทริกซ์การสเกล (scaling matrix) [4] แต่ในทางปฏิบัติอาจมีตัวแปรกำหนดบางตัวที่ไม่สามารถวัดค่าได้ ทำให้ระบบวงปิดมีความไม่แน่นอนอยู่ 3 ส่วน คือ ความไม่แน่นอนของพลานต์ที่ไม่สามารถวัดค่าได้, ตัวแปรกำหนดของพลานต์ และตัวแปรกำหนดของตัวควบคุม ซึ่งเป็นความไม่แน่นอนที่มีโครงสร้างเช่นกัน จึงใช้เมทริกซ์การสเกลลดผลของความอนุรักษ์นี้ด้วย

ในการแก้ปัญหาตัวควบคุมแบบเอชอินฟินิตี้ที่มีเมทริกซ์การสเกลเป็นปัญหาที่ไม่คอนเวกซ์ (nonconvex) ซึ่งเป็นปัญหาที่ยุ่งยากไม่สามารถจัดให้อยู่ในรูปของอสมการเมทริกซ์เชิงเส้นได้ ต้องแก้ปัญหาอสมการเมทริกซ์เชิงเส้น 2 ส่วนสลับกันในลักษณะเดียวกับปัญหาการสังเคราะห์มิว (μ synthesis) [5] แต่ในกรณีที่ให้ตัวควบคุมเป็นการแปลงส่วนย่อยเชิงเส้นกับตัวแปรกำหนดเช่น [4] และกรณีที่พลานต์เป็นเชิงเส้นที่เปลี่ยนแปลงตามพารามิเตอร์ที่มีความไม่แน่นอนแบบไม่มีโครงสร้าง จะเป็นปัญหาคอนเวกซ์และสามารถใช้วิธีอสมการเมทริกซ์เชิงเส้นได้ วิธีอสมการเมทริกซ์เชิงเส้นเป็นวิธีที่แก้ปัญหาทางระบบควบคุมได้หลายปัญหาและเป็นวิธีที่กำลังนิยมกันอย่างแพร่หลาย ทั้งนี้เนื่องจากมีซอฟท์แวร์ให้เลือกใช้มากมาย

ระบบเพนดูลัมผกผันแบบหมุน เป็นตัวอย่างของระบบที่มีคุณสมบัติความไม่เป็นเชิงเส้นสูง มีตัวแปรเข้าและออกหลายตัวแปรและยากต่อการทำให้มีเสถียรภาพ จึงน่าสนใจที่จะทดลองควบคุม

ในวิทยานิพนธ์ [6] เสนอการออกแบบตัวควบคุมเอชอินฟินิตี้ สำหรับระบบเชิงเส้นที่เปลี่ยนแปลงตามพารามิเตอร์ที่มีความไม่แน่นอนแบบไม่มีโครงสร้าง แต่ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้เสนอการออกแบบตัวควบคุมเอชอินฟินิตี้ สำหรับระบบเชิงเส้นที่เปลี่ยนแปลงตามพารามิเตอร์ที่ไม่คิดผลของความไม่แน่นอน เนื่องจากในบทความ [7] เสนอวิธีการออกแบบตัวควบคุมสำหรับระบบเชิงเส้นที่เปลี่ยนแปลงตามพารามิเตอร์กับระบบเพนดูลัมผกผันซึ่งไม่คิดผลของความไม่แน่นอน และนำตัวควบคุมที่คำนวณได้ไปประยุกต์ใช้งานกับเพนดูลัมผกผันจริง ซึ่งผลของการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์และผลการควบคุมจริงก็มีค่าใกล้เคียงกัน ความตั้งใจแรกผู้วิจัยต้องการออกแบบตัวควบคุมเพื่อนำไปควบคุมเพนดูลัมผกผันแบบหมุนในห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุม ด้วยเหตุผลนี้จึงใช้วิธีการออกแบบตัวควบคุมตามวิทยานิพนธ์ [6] โดยไม่คิดผลของความไม่แน่นอน

1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา

การออกแบบตัวควบคุมสำหรับพลานต์เชิงเส้นที่เปลี่ยนแปลงตามพารามิเตอร์มีหลายวิธี ขึ้นอยู่กับรูปแบบของตัวควบคุมและการเลือกใช้แบบจำลองเชิงเส้นที่เปลี่ยนแปลงตามพารามิเตอร์แบบใดแทนพลานต์

- ใน [1] และ [2] มีตัวอย่างการออกแบบเครื่องบิน F-14 ด้วยตัวควบคุมที่ได้จากการประมาณค่าในช่วง (interpolation) ของตัวควบคุมสำหรับจุดทำงานต่างๆของเครื่องบิน
- G. Scorletti และ V. Fromion [8] เสนอแนวทางการออกแบบตัวควบคุมสำหรับแบบจำลองที่ตัวแปรกำหนดเป็นฟังก์ชันของเวลา และมีเพียงเมทริกซ์ A ของสมการสถานะที่ขึ้นอยู่กับตัวแปรกำหนด
- C. Courties และ J. Bernussou [9] ออกแบบตัวควบคุมสำหรับพลานต์ที่มีพลวัตอยู่ในโพลิโทป (polytope) โดยตัวควบคุมแบบ $\mathcal{H}_2$ มีพลวัตและเปลี่ยนตามฟังก์ชันของตัวแปรกำหนดของพลานต์
- P. Apkarian, P. Gahinet และ G. Becker [10] ออกแบบตัวควบคุมเอชอินฟินิตี้โดยใช้สมรรถนะเอชอินฟินิตี้กำลังสอง (quadratic $\mathcal{H}_\infty$ performance) สำหรับพลานต์ที่มีพลวัตอยู่ในโพลิโทป
- P. Apkarian และ P. Gahinet [4] เสนอวิธีการออกแบบตัวควบคุมเอชอินฟินิตี้สำหรับพลานต์ที่อยู่ในรูปของการแปลงส่วนย่อยเชิงเส้น และตัวควบคุมก็อยู่ในรูปของการแปลงส่วนย่อยเชิงเส้น
- H. Kajiwara, P. Apkarian และ P. Gahinet [7] เสนอวิธีการออกแบบตัวควบคุมสำหรับระบบเชิงเส้นที่เปลี่ยนแปลงตามพารามิเตอร์กับระบบเพนดูลัมผกผัน และเปรียบเทียบผลการจำลองกับคอมพิวเตอร์และผลการทดลองกับพลานต์จริง
- K. Thiptawonnukoon [6] เสนอการออกแบบตัวควบคุมเอชอินฟินิตี้ สำหรับระบบเชิงเส้นที่เปลี่ยนแปลงตามพารามิเตอร์ที่มีความไม่แน่นอนแบบไม่มีโครงสร้าง และได้เปรียบเทียบผลการควบคุมในกรณีที่พิจารณาผลของความไม่แน่นอน และกรณีที่ละเลยความไม่แน่นอนของระบบ พลานต์ที่ยกมาเป็นกรณีศึกษาคือ ระบบเพนดูลัมผกผันบนรถและระบบเลี้ยงลูกบอลบนคาน

1.3 วัตถุประสงค์

เพื่อออกแบบตัวควบคุมสำหรับระบบเพนดูลัมผกผันแบบหมุนในห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุม

1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

ออกแบบตัวควบคุมสำหรับระบบเพนดูลัมผกผันแบบหมุนได้ โดยมีมุมเริ่มต้นไม่น้อยกว่า 15 องศา แต่ไม่เกิน 30 องศา

1.5 ขั้นตอนในการดำเนินงาน

1. ศึกษาระบบเชิงเส้นที่เปลี่ยนแปลงตามพารามิเตอร์และระบบควบคุมแบบกำหนดอัตราขยาย
2. ศึกษาวิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีอสมการเมทริกซ์เชิงเส้น
3. ศึกษาตัวควบคุมที่ใช้กับระบบเชิงเส้นที่เปลี่ยนแปลงตามพารามิเตอร์
4. ศึกษาระบบเพนดูลัมผกผันแบบหมุน
5. ออกแบบตัวควบคุมเชิงเส้นที่เปลี่ยนแปลงตามพารามิเตอร์สำหรับระบบเพนดูลัมผกผันแบบหมุน
6. จำลองผลการควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. วิธีการออกแบบตัวควบคุมสำหรับระบบเชิงเส้นที่เปลี่ยนแปลงตามพารามิเตอร์
2. ตัวควบคุมสำหรับระบบเชิงเส้นที่เปลี่ยนแปลงตามพารามิเตอร์สำหรับระบบเพนดูลัมผกผันแบบหมุน มีช่วงการทำงานกว้างกว่าตัวควบคุมเชิงเส้นแบบเก่า

1.7 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้ประกอบไปด้วยเนื้อหา 4 บทด้วยกัน และเพื่อความสมบูรณ์ของเนื้อหาได้เพิ่มภาคผนวกอีก 3 บท โดยแต่ละบทกล่าวถึงเนื้อหาดังต่อไปนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมา ความสำคัญของปัญหา ขอบเขตวิทยานิพนธ์ ขั้นตอนการดำเนินงาน และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

บทที่ 2 แสดงรูปแบบของแบบจำลองเชิงเส้นที่เปลี่ยนแปลงตามพารามิเตอร์และเปรียบเทียบผลตอบของแบบจำลองนี้กับแบบจำลองเชิงเส้นและแบบจำลองไม่เชิงเส้น

บทที่ 3 แสดงรูปแบบของแบบจำลองเชิงเส้นที่เปลี่ยนแปลงตามพารามิเตอร์ วิธีการออกแบบตัวควบคุม และจำลองผลการควบคุมระบบเพนดูลัมผกผันแบบหมุนด้วยคอมพิวเตอร์

บทที่ 4 สรุปผลของวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งแสดงข้อเสนอแนะที่น่าศึกษาต่อไป

ภาคผนวก ก แสดงแบบจำลองของระบบเพนดูลัมผกผันแบบหมุนที่จะใช้ควบคุม

ภาคผนวก ข แสดงการหาแบบจำลองเชิงเส้นที่เปลี่ยนแปลงตามพารามิเตอร์ สำหรับระบบเพนดูลัมผกผันแบบหมุน

ภาคผนวก ค แสดงโปรแกรมที่ใช้หาตัวควบคุม