บทที่ 7

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

7.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอวิธีการออกคำนวณดัชนีสมรรถนะที่มีนิยาม (1.3) กล่าวอีกทีดังนี้

$$\hat{v}(\mathcal{P},p) \triangleq \sup_{t\geq 0}\sup_{f\in\mathcal{P}}|v(t,f,p)|$$

เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบระบบควบคุมที่มีเกณฑ์การออกแบบ (1.1) หรือ (กล่าวอีกที)

$$|v(t,f,p)|\leq\varepsilon,\quad \forall t\geq 0 \quad \text{สำหรับสัญญาณเข้าเป็นไปได้ } f \text{ ใดๆ} \tag{7.1}$$

เป็นเกณฑ์หลัก

โดยการใช้แนวทางการประมาณเชิงเลข วิธีการคำนวณดัชนีสมรรถนะที่เสนอสามารถนำไปใช้งานสำหรับระบบสังวัตนาการ (2.7) ที่ทราบเพียงผลตอบอิมพัลส์หนึ่งหน่วย กล่าวคือวิธีที่เสนอสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบตรรกยะ หรือระบบมิติอนันต์ที่ทราบผลตอบอิมพัลส์หนึ่งหน่วย อย่างไรก็ตามระบบดังกล่าวต้องมีเสถียรภาพแบบสัญญาณเข้ามีขอบเขต/สัญญาณออกมีขอบเขต กระบวนการคำนวณค่าดัชนีสมรรถนะสำหรับระบบที่มีเสถียรภาพดังกล่าวกล่าวไว้ในบทที่ 4 ยิ่งไปกว่านั้นสำหรับระบบมีเสถียรภาพแบบสัญญาณเข้ามีขอบเขต/ สัญญาณออกมีขอบเขต สมมูลกับเสถียรภาพเลขชี้กำลัง กระบวนการคำนวณดัชนีสมรรถนะยังได้พัฒนาให้เหมาะสำหรับการคำนวณแบบอัตโนมัติ

เซตเป็นไปได้ที่พิจารณาในวิทยานิพนธ์นี้ ถูกกำหนดลักษณะสมบัติด้วยขอบเขตเงื่อนไขนอร์ม L_2 และ/หรือ นอร์ม L_∞ บนขนาดและความชันของสัญญาณเข้าตามที่นิยามใน (2.14) เซตดังกล่าวเพียงพอที่จะนำไปใช้ในการเป็นแบบจำลองของสัญญาณเป็นไปได้ เนื่องจากเซตดังกล่าวคลอบคลุมสัญญาณเข้าชั่วครู่ และสัญญาณเข้าอยู่ตัวที่ปรากฏในทางปฏิบัติ นอกจากนี้เซตเป็นไปได้ (2.14) เปิดโอกาสให้ผู้ออกแบบเพิ่มเงื่อนไขขอบเขตการเพิ่มเงื่อนไขขอบเขตทำให้ลดสัญญาณเข้าที่ไม่เกิดขึ้นจริง และในบางกรณีทำให้ผลการออกแบบดีขึ้น (ดูหัวข้อที่ 2.4)

เทคนิควิธีที่ใช้ในการคำนวณดัชนีสมรรถนะคือ การตัดปลายปริพันธ์ไม่ตรงแบบที่ปรากฏในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และใช้วิธีผลต่างอันตะในการคำนวณปริพันธ์จำกัดเขตและอนุพันธ์ นอกจากนี้ได้พิสูจน์เงื่อนไขจำเป็นและพอเพียง สำหรับการใช้สูตรผลต่างอันตะในการคำนวณปริพันธ์จำกัดเขตและอนุพันธ์เพื่อให้ปัญหายังคงความเป็นคอนเวกซ์

กรณีศึกษา 2 กรณีแสดงการนำวิธีการคำนวณดัชนีสมรรถนะร่วมกับวิธีอสมการเพื่อออกแบบระบบควบคุมโดยมีเกณฑ์การออกแบบ (1.1) เป็นเกณฑ์หลัก ได้แก่ การออกแบบระบบควบคุมอาคารภายใต้สภาวะแผ่นดินไหว และการออกแบบระบบควบคุมหอกลั่นแยกสารสองชนิด ตัวอย่างแรกแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มเงื่อนไขขอบเขตให้กับเซตเป็นไปได้ สามารถทำให้ผลการออกแบบดีขึ้น ลดความอนุรักษ์ที่เกิดจากสัญญาณเข้าที่ไม่เกิดขึ้นจริงในเซตเป็นไปได้ ส่วนตัวอย่างที่สองแสดงให้เห็นว่าวิธีที่เสนอสามารถนำไปใช้กับ RFDDs ได้ และยังแสดงให้เห็นว่า การใช้ตัวควบคุมแบบเศษส่วนเป็นการเพิ่มพารามิเตอร์ในการออกแบบ ทำให้สามารถหาคำตอบการออกแบบได้ดีขึ้น

อย่างไรก็ตามวิธีการคำนวณดัชนีสมรรถนะที่เสนอมีข้อจำกัดและ สิ่งที่ต้องคำนึงในการนำไปใช้ดังนี้

1. เนื่องด้วยวิทยานิพนธ์นี้พิจารณาระบบสังวัตนาการ (2.7) ซึ่งเป็นระบบเชิงเส้น ดังนั้นระบบที่นำมาใช้กับวิธีการคำนวณดัชนีสมรรถนะที่เสนอต้องมีแบบจำลองเชิงเส้น หรือถ้าเป็นระบบไม่เชิงเส้น (nonlinear system) ระบบดังกล่าวต้องผ่านการทำให้เป็นเชิงเส้น (linearization) รอบจุดทำงานก่อน
2. เนื่องด้วยวิธีเชิงเลขถูกนำมาใช้ในการคำนวณดัชนีสมรรถนะ ดังนั้นวิธีที่เสนออาจจะใช้เวลาในการคำนวณมาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ
   - จำนวนเงื่อนไขขอบเขตที่ใช้ในการกำหนดลักษณะสมบัติของเซตเป็นไปได้ แม้ว่าการเพิ่มเงื่อนไขขอบเขตให้กับเซตเป็นไปได้ได้แบบจำลองของสัญญาณเข้าเป็นไปได้ที่ดีขึ้น (เป็นผลให้ผลการออกแบบดีขึ้น) แต่ทำให้เวลาที่ใช้ในการคำนวณมากขึ้น
   - ความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์ ปัจจัยที่มีผลต่อความน่าเชื่อถือได้แก่ การกำหนดเวลาตัดปลาย การเลือกผลต่างเอกภาพ การกำหนดขอบเขตบนของฟังก์ชันนัลคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการตัดปลายปริพันธ์ไม่ตรงแบบ (สำหรับระบบที่มีเสถียรภาพแบบเลขชี้กำลัง) ปัจจัยดังกล่าวมีส่วนทำให้ปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดมีจำนวนตัวแปรมากขึ้น และทำให้เวลาที่ใช้ในการคำนวณจะมีค่ามากเช่นกัน

7.2 ข้อเสนอแนะในงานวิจัยนี้

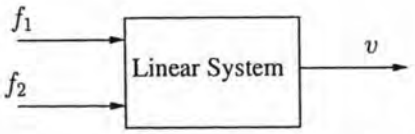
1. เนื่องจากคุณประโยชน์ของความเป็นเชิงเส้นของระบบ (2.7) ที่พิจารณาในวิทยานิพนธ์นี้ ทำให้วิธีการคำนวณดัชนีสมรรถนะสามารถนำไปใช้กับระบบที่มีหลายสัญญาณเข้า (multi-input) ได้ อาทิเช่น ในกรณีของระบบที่มี 2 สัญญาณเข้าแสดงในรูปที่ 7.1 กำหนดให้สัญญาณเข้าเป็นไปได้ $f_1 \in \mathcal{P}_1$ และสัญญาณเข้าเป็นไปได้ $f_2 \in \mathcal{P}_2$ เป็นสัญญาณเข้าให้กับระบบเชิงเส้น และนิยามเซตเป็นไปได้

$$\mathcal{P}_{\mathbf{a}} \triangleq \{\mathbf{f} : \mathbf{f} = [f_1, f_2]^T,\ f_1 \in \mathcal{P}_1 \ \text{และ}\ f_2 \in \mathcal{P}_2\}$$

ดัชนีสมรรถนะสำหรับสัญญาณออก v คำนวณได้จาก

$$\hat{v}(\mathcal{P}_{\mathbf{a}}) = \hat{v}(\mathcal{P}_1) + \hat{v}(\mathcal{P}_2)$$

ดูรายละเอียดเพิ่มเติมใน Zakian (1979, 1987, 1989, 1991, 1996, 2005), Lane (1992, 1995) เป็นต้น



รูปที่ 7.1: ระบบที่ประกอบด้วยสองช่องสัญญาณเข้า

2. วิธีที่เสนอไม่ได้คำนึงถึงกรณีที่ระบบมีความไม่แน่นอน (uncertainty) ซึ่งประเด็นดังกล่าวเป็นปัญหาที่น่าสนใจ และควรค่าแก่การพิจารณาในอนาคต

3. เทคนิคที่ใช้ในการคำนวณสมรรถนะที่เสนอในบทที่ 3 (ได้แก่เทคนิคการตัดปลาย การประมาณปริพันธ์ อนุพันธ์ด้วยผลต่างอันตะ) สามารถนำไปพัฒนาวิธีการคำนวณดัชนีสมรรถนะสำหรับเซตเป็นไปได้ที่กำหนดลักษณะสมบัติเงื่อนไขขอบเขตประเภทอื่น ตราบใดที่เงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดใช้ทำให้ปัญหาการคำนวณดัชนีสมรรถนะ เป็นปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดเชิงคอนเวกซ์ ซึ่งเป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยเกี่ยวกับการคำนวณดัชนีสมรรถนะในอนาคต