บทที่ 1

บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงปัญหาที่เกิดขึ้นกับทฤษฎีการวิเคราะห์และออกแบบของระบบควบคุมที่เป็นอยู่ในปัจจุบันและวิธีการที่จะเสนอขึ้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวอย่างสังเขป หลังจากนั้นจะกล่าวถึงวัตถุประสงค์และขอบเขตของวิทยานิพนธ์ โครงสร้างของวิทยานิพนธ์ประโยชน์ที่จะได้จากการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

1.1 กล่าวนำปัญหา

ปัจจุบันการพัฒนาทางเทคโนโลยีด้านคอมพิวเตอร์มีความเจริญอย่างรวดเร็ว ซึ่งส่งผลในแง่ดีต่อการนำคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพเข้ามาใช้ในการสร้างรูปแบบการวิเคราะห์และออกแบบระบบ เป็นการเพิ่มขีดความสามารถในการควบคุมระบบที่เป็นอยู่ในด้านต่าง ๆ รวมทั้งในด้านอุตสาหกรรมที่มีการขยายตัวอย่างรวดเร็วเช่นกัน ทำให้คอมพิวเตอร์เปรียบเสมือนเป็นตัวควบคุมการทำงานทั้งหมดของระบบ ดังนั้นเพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพจึงต้องทำการวิเคราะห์และออกแบบตัวควบคุมที่เหมาะสมกับระบบหรือกระบวนการนั้น ๆ ซึ่งระบบที่ใช้จริงในปัจจุบันเป็นระบบในเวลาเต็มหน่วย (discrete-time system) ดังนั้นปัญหาที่ต้องพิจารณาคือการออกแบบตัวควบคุมในเวลาเต็มหน่วยด้วยซึ่งเรียกว่า ตัวควบคุมเชิงเลข (digital controller)

การออกแบบตัวควบคุมเชิงเลขที่นิยมใช้โดยทั่วไปมี 3 วิธีคือ วิธีแรกจะขึ้นกับการออกแบบในระบบโดเมนเวลาต่อเนื่อง (continuous-time system) กล่าวคือการออกแบบตัวควบคุมโดเมนเวลาต่อเนื่อง (continuous-time controller) จากกระบวนการในโดเมนเวลาต่อเนื่อง (continuous plant) จากนั้นทำการเปลี่ยนสู่ตัวควบคุมเชิงเลข โดยวิธีการประมาณเช่นการแปลงแบบทัสติน (Tustin transformation) แม้ว่าวิธีดังกล่าวนี้จะมีประสิทธิภาพในช่วงคาบการชักตัวอย่าง (sampling period) สั้น ๆ แต่ดรรชนีสมรรถนะ (performance index) และเสถียรภาพ (stability) ของระบบวงรอบปิด (closed-loop system) อาจไม่เป็นตามต้องการ และวิธีที่สองจะขึ้นกับกระบวนการในเวลาเต็มหน่วย (discretized plant) ซึ่งการออกแบบด้วยวิธีการดังกล่าวนี้ ทำให้เกิดการสูญเสียข้อมูลในระหว่างคาบการชักตัวอย่าง (intersample information) เราจะพบว่าทั้งสองวิธีการออกแบบตัวควบคุมเชิงเลขที่กล่าวมาแล้วนั้นเป็นเพียงการประมาณระบบให้อยู่ในระบบเวลาเต็มหน่วย ส่วนวิธีที่

สามนี้เป็นวิธีออกแบบตัวควบคุมเชิงเลขโดยตรงจากกระบวนการในโดเมนเวลาต่อเนื่อง รวมทั้งสามารถเน้นการพิจารณาข้อมูลระหว่างคาบการชักตัวอย่างควบคู่กับข้อมูลขณะชักตัวอย่าง (sampling information) การออกแบบตัวควบคุมเชิงเลขด้วยวิธีนี้เรียกว่า ระบบชักตัวอย่างข้อมูล (sampled-data system) ซึ่งเป็นระบบพลวัต (dynamic) ที่มีการเชื่อมต่อกันระหว่างระบบโดเมนเวลาต่อเนื่องและระบบในเวลาเต็มหน่วยโดยผ่านตัวชักตัวอย่าง (sampler) และโฮล (hold) โดยจะกล่าวถึงในรายละเอียดในบทที่ 3 ต่อไป

การศึกษาระบบชักตัวอย่างข้อมูลได้มีการวิจัยกันเป็นจำนวนมากในปัจจุบัน โดยมีแนวคิดหลายแบบที่ใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบระบบชักตัวอย่างข้อมูลที่ประกอบด้วยสัญญาณเข้า-ออกแบบลูกผสม (hybrid input/output signal) ซึ่งประกอบด้วยสัญญาณเข้า-ออกในโดเมนเวลาต่อเนื่อง (continuous-time input/output signal) และสัญญาณเข้า-ออกในเวลาเต็มหน่วย (discrete-time input/output signal)

ในการวิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุม มีการพิจารณาดัชนีสมรรถนะของระบบหลายลักษณะด้วยกัน โดยดัชนีสมรรถนะที่นิยมใช้และสามารถทำการวัดได้สะดวกจะอยู่ในลักษณะของนอร์มของระบบวงรอบปิดจากสัญญาณเข้าภายนอก (external input) ไปยังสัญญาณออกที่ต้องการควบคุม (regulated output) และเมื่อทำการเลือกลักษณะของนอร์มที่เหมาะสมและแบบจำลองสังเคราะห์ (synthesis model) ที่ทำการพิจารณาแล้ว จะทำการหาตัวควบคุมซึ่งทำให้นอร์มของระบบวงรอบปิดให้ผลเหมาะสมที่สุด (optimal)

งานวิจัยที่ผ่านมาพิจารณาลักษณะของนอร์ม H_2 , H_∞ และ L_1 ซึ่งมีผู้วิจัย หลายท่านได้ศึกษาในปัญหาเหล่านี้ ตัวอย่างเช่น Bamieh และ Pearson (1992), Chen และ Francis (1991), Dullerud และ Francis (1992), Hara et al. (1994), Hayakawa et al. (1994), Khargonekar และ Sivashankar (1991), Fujioka (1994) ซึ่งทำการพิจารณาในโดเมนเวลา (time domain) ส่วนในงานวิจัยทางด้านการวิเคราะห์และออกแบบในโดเมนความถี่ (frequency domain) ก็เป็นปัญหาที่ได้รับความสนใจเช่นกัน ตัวอย่างเช่น Hagiwara และ Araki (1995), Yamamoto และ Khargonekar (1996) สำหรับปัญหานอร์ม H_2 ดังกล่าวที่ได้จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะมีแบบจำลองที่ใช้ในการพิจารณาอยู่ด้วยกัน 3 แบบ โดยเริ่มจากแบบจำลองฟังก์ชันสเปซ (function space model หรือ lifting model) ที่เสนอโดย Bamiah และ Pearson (1992) และ Yamamoto (1994), แบบจำลองระบบลูกผสม (hybrid

system model) ที่เสนอโดย Kabamba และ Hara (1993) และแบบจำลองดิสคริตจัมพ์ (discrete jump model) ที่เสนอโดย Sun et al. (1993) โดยทั้งแบบจำลองฟังก์ชันสเปซและแบบจำลองระบบลูกผสมจะทำการแก้ปัญหานอร์ม H_2 โดยเปลี่ยนระบบซักตัวอย่างข้อมูลสู่ระบบในเวลาเต็มหน่วยซึ่งให้ค่านอร์ม H_2 สมมูลกับค่านอร์ม H_2 ของระบบซักตัวอย่างข้อมูลต่างจากแบบจำลองดิสคริตจัมพ์ที่ทำการแก้ปัญหาโดยสมการพีชคณิตริคคาติ (Algebraic Riccati equation)

สำหรับลักษณะนอร์ม H_2 ของงานวิจัยที่เสนอขึ้นในวิทยานิพนธ์นี้มีความสัมพันธ์อย่างมากกับนอร์ม H_2 ของระบบซักตัวอย่างข้อมูลของงานวิจัยต่าง ๆ เช่น Bamieh และ Pearson (1992), Chen และ Francis (1991), Khargonekar และ Sivashankar (1991), Hara et al. (1994) และ Fujioka (1994) แต่มีลักษณะที่แตกต่างที่เห็นได้ชัดดังนี้คือการพิจารณานอร์ม H_2 ในลักษณะวางนัยทั่วไป (generalized H_2-norms) ซึ่งประกอบด้วยนอร์ม H_2 ในลักษณะที่มีฟังก์ชันถ่วงน้ำหนัก (weighting function) สองแบบคือ ฟังก์ชันถ่วงน้ำหนักที่ไม่แปรเปลี่ยนตามเวลา (time-invariant weighting function) และฟังก์ชันถ่วงน้ำหนักที่แปรผันตามเวลา (time-varying weighting function) ผลการวิเคราะห์ทำให้เราสามารถพิจารณาการวางตำแหน่งโพล (pole placement) ภายในวงกลมขนาดใด ๆ รวมทั้งความสัมพันธ์ระหว่างนอร์ม H_2 ของระบบโดเมนเวลาต่อเนื่องและระบบซักตัวอย่างข้อมูลเมื่อคาบการซักตัวอย่างเข้าใกล้ศูนย์ โดยใช้ตัวดำเนินการเดลต้า (delta operator)

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คือ

1. พัฒนาวิธีการหานอร์ม H_2 นัยทั่วไปของระบบซักตัวอย่างข้อมูลและความสัมพันธ์ของนอร์มดังกล่าวกับพฤติกรรมในโดเมนเวลา
2. พัฒนาวิธีการออกแบบระบบควบคุมแบบซักตัวอย่างข้อมูลโดยใช้นอร์ม H_2 นัยทั่วไปเป็นเกณฑ์
3. พัฒนาโปรแกรมสำหรับการออกแบบระบบซักตัวอย่างข้อมูล

เพื่อที่จะแสดงให้เห็นความเป็นไปได้ของการประยุกต์ทฤษฎีการวิเคราะห์และออกแบบที่ได้นำเสนอในการใช้งานจริงจึงได้ทำกรณีศึกษา (case study) เกี่ยวกับการออกแบบตัวควบคุมเชิงเลขของระบบซักตัวอย่าง กรณีศึกษาดังกล่าวทำได้โดยการจำลองเชิงเลข (digital simulation) จาก

โปรแกรม MATLAB/SIMULINK ที่ได้จากห้องทดลองวิจัยระบบควบคุม (Control System Reserch Laboratory) ของภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเสนอทฤษฎีการวิเคราะห์และออกแบบตัวควบคุมเชิงเลขสำหรับระบบชักตัวอย่างข้อมูลโดยใช้นอร์ม H_2 นัยทั่วไปเป็นดัชนีสมรรถนะของระบบ ขอบเขตวิทยานิพนธ์มีดังนี้ คือ

1. พัฒนาวิธีการหานอร์ม H_2 นัยทั่วไปสำหรับระบบชักตัวอย่างข้อมูลและความสัมพันธ์ของนอร์มดังกล่าวกับพฤติกรรมในโดเมนเวลาของระบบ
2. พัฒนาโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์และออกแบบระบบชักตัวอย่างข้อมูล

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะทำการเปรียบเทียบผลของการออกแบบตัวควบคุมเชิงเลขที่ได้จากการออกแบบระบบชักตัวอย่างข้อมูล โดยใช้นอร์ม H_2 ที่ได้นำเสนอขึ้นดังกล่าวในข้างต้นกับตัวควบคุมเชิงเลขที่ได้จากวิธีการออกแบบที่นิยมใช้โดยทั่วไปในปัจจุบันทั้ง 2 วิธี เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบได้อย่างสะดวกรวมทั้งผลตอบสนองอิมพัลส์ (Impulse Response) เราจะเลือกใช้แบบจำลองระบบลูกผสมในทฤษฎีการวิเคราะห์และการสังเคราะห์ระบบชักตัวอย่างข้อมูล

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

กล่าวโดยสรุปแล้ววิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการประยุกต์ทฤษฎีการวิเคราะห์และออกแบบในการออกแบบตัวควบคุมเชิงเลขสำหรับระบบชักตัวอย่างข้อมูล โดยใช้นอร์ม H_2 นัยทั่วไปและความสัมพันธ์ของนอร์มดังกล่าวกับพฤติกรรมในโดเมนเวลาเป็นดัชนีสมรรถนะเป็นเกณฑ์ ขั้นตอนการดำเนินงานมีดังนี้คือ

1. ศึกษาลักษณะความแตกต่างระหว่างระบบชักตัวอย่างข้อมูลกับระบบในเวลาเต็มหน่วยและระบบโดเมนเวลาต่อเนื่อง
2. ศึกษาคุณสมบัติเชิงทฤษฎีของระบบชักตัวอย่างข้อมูล โดยแบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ

- แบบจำลองระบบลูกผสม (hybrid system model)
- แบบจำลองฟังก์ชันสเปซ (lifting หรือ function space model)
- แบบจำลองดิสครีตจัมพ์ (discrete jump model)

3. ศึกษาวิธีการหานอร์ม H_2 ของระบบแบบต่าง ๆ (ระบบชักตัวอย่างข้อมูล, ระบบเวลาเต็มหน่วยและระบบโดเมนเวลาต่อเนื่อง)
4. ศึกษาวิธีการหาระบบในเวลาเต็มหน่วยที่มีนอร์ม H_2 สมมูลกับนอร์ม H_2 ของ ระบบชักตัวอย่างข้อมูล
5. จำลองระบบและทดสอบทำการหาค่านอร์ม H_2 ของระบบโดยใช้ MATLAB/SIMULINK
6. ศึกษาวิธีการออกแบบและทดสอบระบบในเวลาเต็มหน่วยที่มีนอร์ม H_2 สมมูล กับนอร์ม H_2 ของระบบชักตัวอย่างข้อมูลโดยใช้ MATLAB/SIMULINK
7. พัฒนาโปรแกรมการออกแบบจากนั้นทดสอบการออกแบบและแก้ไขปรับปรุง
8. ประเมินผลและเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ประโยชน์และความสำคัญที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แก่

1. สามารถพัฒนาวิธีการหานอร์ม H_2 นัยทั่วไปสำหรับระบบชักตัวอย่างข้อมูลอีกทั้งเรียนรู้วิธีการหานอร์ม H_2 ของระบบแบบต่าง ๆ
2. เป็นการพัฒนาโปรแกรมที่จำเป็นในการหานอร์ม H_2 สำหรับระบบชักตัวอย่างข้อมูลและระบบในเวลาเต็มหน่วยที่มีนอร์ม H_2 สมมูลกับของระบบชักตัวอย่างข้อมูล โดยอยู่ในลักษณะการวางนัยทั่วไป
3. ผลที่ได้สามารถนำมาใช้ในการออกแบบระบบควบคุมได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น
4. ผลการศึกษาวิจัยและพัฒนาสามารถนำไปใช้ประยุกต์ในระบบควบคุมที่มีอยู่ในปัจจุบันได้สะดวกยิ่งขึ้น

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.6 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ประกอบด้วยเนื้อหาต่าง ๆ 6 บทด้วยกัน โดยในบทแรกนี้กล่าวถึงความเป็นมาของการศึกษาวัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิทยานิพนธ์รวมทั้งขั้นตอนการดำเนินงานต่าง ๆ

บทที่ 2 กล่าวถึงพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับการศึกษาการออกแบบตัวควบคุมด้วยนอร์ม H_2 ได้แก่ ความหมาย นิยาม และทฤษฎีต่าง ๆ ของระบบในโดเมนเวลาต่อเนื่องและระบบในเวลาเต็มหน่วย

บทที่ 3 กล่าวถึงลักษณะโดยทั่วไปของการออกแบบตัวควบคุมเชิงเลขและการออกแบบระบบควบคุมแบบชักตัวอย่างข้อมูลด้วยนอร์ม H_2 ทั้งทฤษฎีการวิเคราะห์และการสังเคราะห์ โดยใช้แบบจำลองระบบลูกผสมและตัวอย่างการออกแบบตัวควบคุมเชิงเลขด้วยระบบชักตัวอย่างข้อมูลกับการออกแบบด้วยวิธีการโดยทั่วไป

บทที่ 4 กล่าวถึงการออกแบบระบบควบคุมแบบชักตัวอย่างข้อมูลด้วยนอร์ม H_2 นัยทั่วไป โดยประกอบด้วยฟังก์ชันถ่วงน้ำหนักที่แปรผันตามเวลาและไม่แปรเปลี่ยนตามเวลาและความสัมพันธ์ระหว่างระบบในโดเมนเวลาต่อเนื่องและระบบชักตัวอย่าง สุดท้ายกล่าวถึงการพิจารณาระบบชักตัวอย่างข้อมูลด้วยผลการแปลงเดลต้า

บทที่ 5 กล่าวถึงขั้นตอนการคำนวนค่า H_2 เมื่อประกอบด้วยฟังก์ชันถ่วงน้ำหนักที่แปรผันตามเวลาและไม่แปรเปลี่ยนตามเวลาและตัวอย่างประกอบการพิจารณา และบทที่ 6 เป็นบทสรุปของวิทยานิพนธ์ รวมทั้งข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในขั้นต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย