การออกแบบตัวควบคุมและตัวสังเกตที่ขอบสำหรับคานเรย์ลีโดยใช้แนวทางการแปลงก้าวถอยหลัง

นายจิตติชัย เลิศภิญโญวงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2550
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

BOUNDARY CONTROLLER AND OBSERVER DESIGN FOR THE RAYLEIGH BEAM USING THE BACKSTEPPING APPROACH

Mr. Jittichai Lertphinyovong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering
Department of Electrical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2007
Copyright of Chulalongkorn University

500283

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบตัวควบคุมและตัวสังเกตที่ขอบสำหรับคานเรย์ลีโดยใช้แนวทางการแปลงก้าวถอยหลัง
โดย	นายจิตติชัย เลิศภิญโญวงศ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.วัชรพงษ์ โชวิฑูรกิจ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุชิน อรุณสวัสดิ์วงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.วัชรพงษ์ โชวิฑูรกิจ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนุสรณ์ ชนวีระยุทธ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. วารี กงประเวชนนท์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. สุธี ผู้เจริญชนะชัย)

จิตติชัย เลิศภิญโญวงศ์: การออกแบบตัวควบคุมและตัวสังเกตที่ขอบสำหรับคานเรย์ลีโดยใช้แนวทางการแปลงก้าวถอยหลัง (BOUNDARY CONTROLLER AND OBSERVER DESIGN FOR THE RAYLEIGH BEAM USING THE BACKSTEPPING APPROACH), อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ.ดร. วัชรพงษ์ โชวิฑูรกิจ, 45 หน้า

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอการออกแบบตัวควบคุมป้อนกลับสถานะที่ขอบที่ทำให้เสถียร และตัวสังเกตกรณีไม่ร่วมตำแหน่งสำหรับคานเรย์ลีปลายยึด โดยใช้การแปลงปริพันธ์ก้าวถอยหลังแปลงระบบที่ต้องการควบคุมไปสู่ระบบที่มีเสถียรภาพแบบเลขชี้กำลัง หลักการเดียวกันนี้ยังสามารถใช้ในการออกแบบตัวสังเกต ซึ่งเราสามารถแสดงได้ว่าระบบวงวนปิดมีเสถียรภาพแบบเลขชี้กำลัง สำหรับตัวควบคุมและตัวสังเกตต้องการเพียงผลเฉลยของสมการเคอร์เนลซึ่งเป็นสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยเชิงเส้นที่ตั้งไว้ดี ซึ่งสามารถหาได้โดยใช้วิธีการประมาณสืบเนื่อง สุดท้ายเราจะใช้วิธีการเวียนเกิด I_{MN} ของซาเกียนสำหรับสมการเชิงอนุพันธ์สามัญในการจำลองแบบผลตอบสนองของระบบวงวนเปิด ระบบวงวนปิดที่ใช้การป้อนกลับสถานะ และระบบวงวนปิดเมื่อใช้การป้อนกลับสัญญาณออก

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2550

ลายมือชื่อนิสิต จิตติชัย เลิศภิญโญวงศ์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก วัชรพงษ์ โชวิฑูรกิจ

##4970255121: MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: RAYLEIGH BEAM / BACKSTEPPING METHOD / EXPONENTIAL STABILIZATION / BOUNDARY CONTROLLER / NONCOLOCATED OBSERVER / PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATION (PDE)

JITTICHAI LERTPHINYOVONG: BOUNDARY CONTROLLER AND OBSERVER DESIGN FOR THE RAYLEIGH BEAM USING THE BACKSTEPPING APPROACH, PRINCIPAL THESIS ADVISOR: WATCHARAPONG KHOVIDHUNGIJ, Ph.D., 45 pp.

In this thesis, we present a stabilizing boundary state feedback controller and observer design for the clamped-end Rayleigh beam using noncolocated measurement and actuation. Our strategy is to use a backstepping integral coordinate transformation to transform the system into an exponentially stable system. The same idea is used to design our observer. We can show that the closed-loop system is exponentially stable. The controller and observer require the solutions of well-posed linear PDEs, which can be obtained by applying the successive approximation method. Finally, we use the Zakian I_{MN} recursion for ODE's to simulate the dynamic behavior of both the open-loop system and the closed-loop system when using state feedback and output feedback.

Department Electrical Engineering
Field of study Electrical Engineering
Academic year 2007

Student's signature Jittichai Lertphinyovong
Principal advisor's signature Watcharapong

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยความช่วยเหลือของรองศาสตราจารย์ ดร. วัชรพงษ์ โชวิฑูรกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้สละเวลาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ รวมทั้งได้มอบหมายงานที่เป็นประโยชน์ ที่ทำให้นิสิตมีแนวความคิดในการทำวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุชิน อรุณสวัสดิ์วงศ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนุสรณ์ ชนวีระยุทธ รองศาสตราจารย์ ดร. วารี กงประเวชนนท์ และดร. สุธี ผู้เจริญชนะชัย กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้สละเวลาตรวจสอบและให้คำแนะนำเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านในสาขาระบบควบคุม ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้พื้นฐานในวิชาทางระบบควบคุม อันเป็นพื้นฐานในการศึกษาและทำวิทยานิพนธ์นี้

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา สำหรับความรัก ความห่วงใย ความดูแลเอาใจใส่ ให้กำลังใจและกำลังทรัพย์ในการศึกษาต่อระดับปริญญามหาบัณฑิตนี้

ขอขอบคุณน้องสาว เพื่อนๆ รุ่นพี่ รุ่นน้องทุกคนในห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุม ที่ให้กำลังใจและคำปรึกษา จนผู้วิจัยได้ทำวิทยานิพนธ์นี้ได้สำเร็จสมบูรณ์ ขอขอบคุณพี่ธีรเดช สำหรับความช่วยเหลือและคำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอขอบคุณพี่วทัญญู พี่ฐาปนา พี่วรพล ปรเมษ ศิริพงษ์ ธนาฒย์ กรกนก วีระศักดิ์ และกิตติชัย สำหรับความช่วยเหลือต่างๆ

วิทยานิพนธ์นี้คงสำเร็จลงไม่ได้หากขาดทุนการศึกษาจากโครงการศิษย์ก้นกุฏิ จึงขอขอบพระคุณไว้ในที่นี้ด้วย

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุม ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับทรัพยากรต่างๆ ในการศึกษา ค้นคว้าและวิจัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ญ

บทที่

1 บทนำ **1**

1.1 ความเป็นมาและแนวเหตุผล 1

1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา 1

1.3 วัตถุประสงค์ 4

1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ 4

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน 4

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

1.7 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์ 5

2 แบบจำลองคณิตศาสตร์ของคานเรย์ลี **6**

2.1 แบบจำลองคณิตศาสตร์ของคานเรย์ลี 6

2.2 แบบจำลองที่ถูกแปลงของคานเรย์ลี 7

2.3 สรุป 8

3 การออกแบบควบคุมและตัวสังเกต **9**

3.1 การออกแบบตัวควบคุม 9

3.2 การออกแบบตัวสังเกต 13

3.3 สรุป 18

4 การพิสูจน์เสถียรภาพ **20**

4.1 การพิสูจน์เสถียรภาพ 20

4.2 สรุป 24

5 การจำลองแบบด้วยวิธีเชิงตัวเลข **25**

บทที่ หน้า

5.1 เคอร์เนลอัตราขยายการป้อนกลับ 25
5.1.1 เคอร์เนลอัตราขยายการป้อนกลับที่ใช้ในตัวควบคุม 25
5.1.2 เคอร์เนลอัตราขยายการป้อนกลับที่ใช้ในตัวสังเกต 25
5.2 การจำลองแบบผลตอบสนอง 27
5.2.1 การเวียนเกิด I_{MN} ของซาเกียนสำหรับสมการเชิงอนุพันธ์สามัญ 28
5.2.2 การจำลองแบบผลตอบสนองของคานเรย์ลีปลายยึดทั้งสองด้าน 29
5.2.3 การจำลองแบบผลตอบสนองของระบบวงวนปิดเมื่อใช้การป้อนกลับสถานะ 32
5.2.4 การจำลองแบบผลตอบสนองของระบบวงวนปิดเมื่อใช้การป้อนกลับสัญญาณออก .. 35
5.3 สรุป 40

6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 41

6.1 บทสรุป 41
6.2 ข้อเสนอแนะ 41

รายการอ้างอิง 42

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 45

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

5.1 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\max_{x,t}|w(x,t)|$, T_s และ c 33

5.2 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\max_{x,t}|w(x,t)|$, T_s และ c_0 เมื่อ $c = 0.5$ และ $c_1 = 0.9$. 38

5.3 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\max_{x,t}|w(x,t)|$, T_s และ c_1 เมื่อ $c = 0.5$ และ $c_0 = 0.75$. 39

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 คานเรย์ลีปลายยึด 7

5.1 (a) เคอร์เนลอัตราขยายการป้อนกลับ $k(1,y)$ ของตัวควบคุม (3.11) (b) เคอร์เนลอัตราขยายการป้อนกลับ $k_x(1,y)$ ของตัวควบคุม (3.11) 27

5.2 (a) เคอร์เนลอัตราขยายการป้อนกลับ $p(x,0)$ ของตัวสังเกต (3.21) (b) เคอร์เนลอัตราขยายการป้อนกลับ $p_y(x,0)$ ของตัวสังเกต (3.21) 27

5.3 การกระจัดตามขวาง $w(x,t)$ ของคานเรย์ลีปลายยึดทั้งสองด้าน 31

5.4 การกระจัดตามขวาง $w(x,t)$ ของคานเรย์ลีเมื่อใช้ตัวควบคุมป้อนกลับสถานะ (3.8) และ (3.11) เมื่อ (a) $c = 0.25$ (b) $c = 0.5$ (c) $c = 0.75$ (d) $c = 1$ (e) $c = 2$ (f) $c = 3$ 34

5.5 การกระจัดตามขวาง $w(x,t)$ ของคานเรย์ลีเมื่อใช้ตัวควบคุมป้อนกลับสัญญาณออก (3.19) และ (3.20) เมื่อ $c = 0.5$, $c_1 = 0.9$ และ (a) $c_0 = 0.75$ (b) $c_0 = 1$ (c) $c_0 = 1.25$ (d) $c_0 = 1.5$ 38

5.6 การกระจัดตามขวาง $w(x,t)$ ของคานเรย์ลีเมื่อใช้ตัวควบคุมป้อนกลับสัญญาณออก (3.19) และ (3.20) เมื่อ $c = 0.5$, $c_0 = 0.75$ และ (a) $c_1 = 0.3$ (b) $c_1 = 0.5$ (c) $c_1 = 0.7$ (d) $c_1 = 0.9$ 39