การนำระบบควบคุมแบบฟัซซีมาใช้ควบคุมการทำงานของระบบตุ้มน้ำหนักแกว่ง

นาย ไพบูลย์ จำนงค์วุฒิโรจน์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-636-728-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 17332637

FUZZY CONTROL FOR AN INVERTED PENDULUM SYSTEM

Mr. Paiboon Jumnongvutiroj

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering

Department of Mechanical Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University

Academic Year 1996

ISBN 974-636-728-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การนำระบบควบคุมแบบฟัซซีมาใช้ควบคุมการทำงานของระบบตุ้มน้ำหนักแกว่ง
โดย	นาย ไพบูลย์ จำนงค์วุฒิโรจน์
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาตราจารย์ ดร. วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. วริทธิ์ อึ้งภากรณ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ยงเจริญ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยโรจน์ คุณพนิชกิจ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

ไพบูลย์ จำนงค์วุฒิไรจน์ : การนำระบบควบคุมแบบฟัซซี มาใช้ควบคุมการทำงานของระบบตุ้มน้ำหนักแกว่ง (FUZZY CONTROL FOR AN INVERTED PENDULUM STSTEM) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ , 72 หน้า. ISBN 974-636-728-5

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำระบบควบคุมแบบฟัซซี มาประยุกต์ใช้กับระบบตุ้มน้ำหนักแกว่ง โดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุม โดยระบบควบคุมในการวิจัยนี้มี 2 ระบบ คือระบบควบคุมแบบไฮบริด และระบบควบคุมแบบฟัซซี ซึ่งทั้ง 2 ระบบควบคุมนี้แบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกจะควบคุมในช่วงที่ระบบไม่เป็นเชิงเส้น(Nonlinear) คือตั้งแต่ตำแหน่งจุดต่ำสุด จนถึงจุดที่มุมองศาอยู่ในช่วง -30 องศาถึง 30 องศา จากจุดสูงสุด ซึ่งทั้ง 2 ระบบควบคุมจะมีส่วนควบคุมส่วนแรกที่เหมือนกัน ซึ่งในส่วนนี้จะเป็นระบบควบคุมแบบฟัซซี ส่วนที่สอง จะควบคุมในช่วงที่ระบบเป็นเชิงเส้น (Linear) คือ -30 องศา ถึง 30 องศา จากจุดสูงสุด โดยที่ในส่วนที่สอง ทั้ง 2 ระบบควบคุมจะไม่เหมือนกัน ระบบควบคุมแบบไฮบริดจะใช้วิธีควบคุมแบบวางตำแหน่งโพล(Pole Placement) ในขณะที่ระบบควบคุมแบบฟัซซีจะใช้วิธีควบคุมแบบฟัซซี

จากการทดลองเขียนโปรแกรม และทดสอบจริง ทั้ง 2 ระบบสามารถทำงานได้ โดยมีการทำงานที่ใกล้เคียงกัน คือ ควบคุมตำแหน่งมุมองศาของตุ้มน้ำหนักให้อยู่ในช่วงไม่เกิน 2%ของ 180 องศา ได้ตามต้องการ แต่จะมีปัญหาในการควบคุมตำแหน่ง x บ้าง เนื่องจากระบบตุ้มน้ำหนักแกว่งที่สร้างขึ้นมาไม่สมมาตรอย่างแท้จริง เนื่องจากมีปัญหาต่างๆ เช่น ศูนย์ของระบบส่งกำลัง(มอเตอร์,เกียร์ทด,มูเล่ที่ต่อจากเกียร์ทดและมีลวดสลิงพันอยู่) ไม่ได้ศูนย์ ทำให้การเคลื่อนที่ของระบบไม่สมมาตร หรือ ระบบลวดสลิงที่มีการยืดตัวในขณะที่ทดสอบ รวมทั้งค่าความละเอียดของเอนโคดเดอร์ที่น้อยเกินไป ทั้งหมดทำให้การควบคุมตำแหน่ง x ไม่ได้ผลเท่าที่ควร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C615922 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING
KEY WORD: FUZZY CONTROL / INVERTED PENDULUM
PAIBOON JUMNONGVUTIROJ : FUZZY CONTROL FOR AN INVERTED PENDULUM SYSTEM. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. VIBOON SANGVERAPHUNSIRI, Ph.D. 72 PP. ISBN 974-636-728-5

Fuzzy control techniques are implemented on an inverted pendulum system. Both hybrid and fuzzy control schemes are studied and experimented. The controlled motions are devided into 2 paths in both cases. The first path is nonlinear control which covers the motion (θ) range between 150 degrees and 150 degrees measured form the lowest position of the pendulum arm. Both hybrid and fuzzy control schemes have the same fuzzy control algorithm which used for swinging the pendulum arm from lowest position (θ=0) to θ within $\pm$30 degree form upper position (θ=180). The second path is approximated with a linear system which cover the range between 150 degrees to 210 degrees reference from the lowest position of the pendulum arm. For the second path, the linear state variable feedback control base on the pole placement control is used for the hybrid control scheme. For the fuzzy control scheme, both paths are controlled by fuzzy algorithms.

The result from the experiments for both control schemes shown very similar. Less than 2% of 180 degrees of the vertical control for the pendulum arm can be achived. The X position control of the cart has some difficulties because of the mechanical defects such as the alignment among the motor shaft, gearbox and pulley and the elasticity of the sling. These mechanical defects cause the ansymmetrical motion of the inverted pendulum in the vertical plane. The X-position control can be improved as the resolution of the X-axis encoder increased.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของบุคคลหลายฝ่าย บุคคลแรกที่จะต้องขอกล่าวก่อนใครในที่นี้ คือ รศ.ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้กรุณาเสียสละเวลาคอยให้คำแนะนำปรึกษาและให้ข้อคิดเห็นต่าง ๆ ในการวิจัยมาด้วยดีตลอด รวมทั้งช่วยหาแหล่งเงินทุนต่าง ๆ มาสนับสนุนงานวิทยานิพนธ์นี้ จนงานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี พร้อมกันนี้ของขอบคุณคุณไพรัช ตั้งพรประเสริฐที่ให้วงจรไฟฟ้าบางวงจร และขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยบางส่วนที่ใช้ในการทำวิจัยครั้งนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญภาพ ..... ฉ

บทที่

1. บทนำ 1

2. ฟัซซีเซต 5

3. การควบคุมแบบไฮบริด 18

4. ระบบควบคุมแบบฟัซซี 38

5. การทดลองและวิเคราะห์ผล 47

6. สรุปผลการทดลองและข้อแนะนำ 58

บรรณานุกรม 60

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก 61

ภาคผนวก ข 64

ภาคผนวก ค 68

ภาคผนวก ง 70

ประวัติผู้วิจัย 72

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

2.1 ฟัซซีเซต 5
2.2 เซตที่มีขอบเขต (Crip set) 6
2.3 ฟัซซีเซตในรูปแบบ S curve 8
2.4 ฟัซซีเซตในรูปแบบ Π 9
2.5 ฟัซซีเซตในรูปสามเหลี่ยม 9
2.6 การยูเนียนฟัซซีเซต 10
2.7 การอินเตอร์เซกชันฟัซซีเซต 11
2.8 การคอมพรีเมนท์ฟัซซีเซต 12
2.9 เปรียบเทียบค่าฟัซซีของเซต A,B 16
3.1 แบบจำลองของระบบและมุมองศาต่าง ๆ 18
3.2 ตำแหน่ง Quadrant ต่าง ๆ 18
3.3 ระบบควบคุมแบบฟัซซีส่วนที่หนึ่ง 19
3.4 Membership Function ของมุมองศาแขน Pendulum 20
3.5 Membership Function ของระยะทาง X 20
3.6 Membership Function ของสัญญาณ output 21
3.7 Membership Function ของมุมองศาแขน Pendulum 21
3.8 Membership Function ของระยะทาง X 22
3.9 Block Diagram ของระบบ Fuzzyfier 22
3.10 ตารางกฎพื้นฐานของฟัซซี 23
3.11 ตำแหน่งมุมองศาต่าง ๆ ตามตาราง 24
3.12 ตำแหน่งมุมองศาต่าง ๆ ตามตาราง 24
3.13 ตารางค่าของ output ที่ input ต่าง ๆ กัน 25
3.14 output ของ process 1 27
3.15 output ของ process 2 27
3.16 output ของ process 3 28

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.17 output ของ process 4 28

3.18 ฟัซซีเซตของ output รวม 28

3.19 ฟัซซีเซตรวมของ output 29

3.20 Block Diagram ของ fuzzy base rule 29

3.21 ฟัซซีเซตรวมของ output 30

3.22 ระบบควบคุมแบบ Linear state feedback control (pole placement) 31

3.23 แรงต่าง ๆ ใน pendulum 32

4.1 ระบบควบคุมแบบฟัซซี ส่วนที่สอง 38

4.2 Membership Function ของ Zeta 39

4.3 Membership Function ของ Velocity of Zeta 40

4.4 Membership Function ของ X 41

4.5 Membership Function ของ Velocity of X 41

4.6 Block Diagram ของ Fuzzyfier 42

4.7 Block Diagram ของระยะทาง X 46

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย