

การนำระบบความคุ้มแบบฟื้นฟื้นมาใช้ควบคุมการทำงานของระบบดูมน้ำหนักแก่วง



นาย ไพบูลย์ จันงค์วุฒิไกรน์

# ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

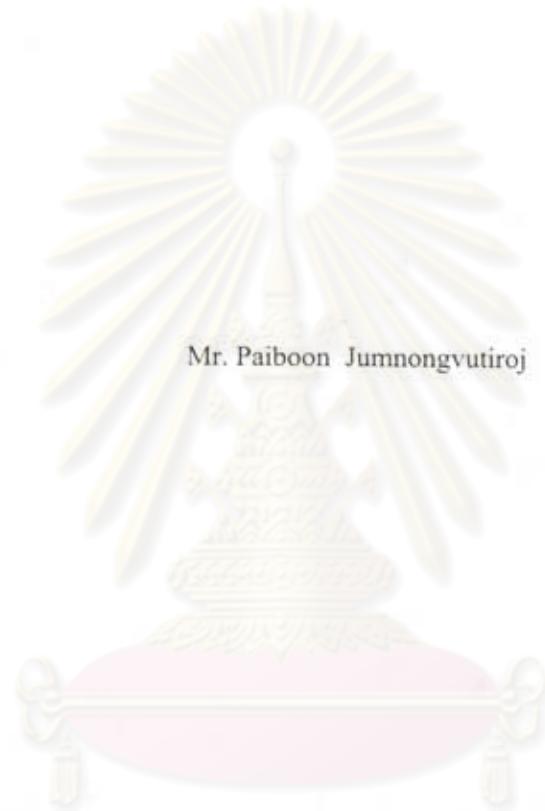
ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-636-728-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

FUZZY CONTROL FOR AN INVERTED PENDULUM SYSTEM

Mr. Paiboon Jumnongvutiroj



ศูนย์วิทยบรังษยการ  
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

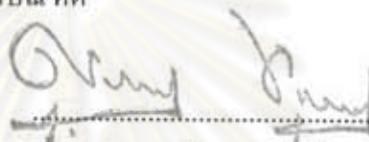
Chulalongkorn University

Academic Year 1996

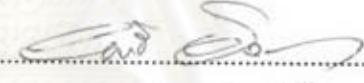
ISBN 974-636-728-5

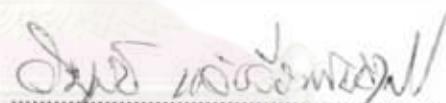
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การนำระบบความคุณแบบฟื้ซซึมใช้ควบคุมการทำงานของ  
ระบบดูมน้ำหนักแก่วง  
โดย นาย ไพบูลย์ จำนงค์วุฒิโรจน์  
ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล  
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ

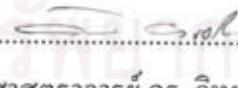
บันทึกวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาบัณฑิต

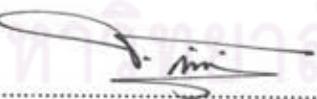
  
..... คณบดีบันทึกวิทยาลัย  
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุดวงศ์ )

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร. วริทธิ อิงกarnation )

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

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา คงเจริญ )

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

พิมพ์ดันฉบับปกดื่ยอวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

ไทยลักษณ์ จำนงค์วุฒิโรจน์ : การนำระบบควบคุมแบบฟuzzi มาใช้ควบคุมการทำงานของระบบตุ้มน้ำหนักแกว่ง (FUZZY CONTROL FOR AN INVERTED PENDULUM SYSTEM) อ.ที่ปรึกษา : วงศ.ดร.วิบูลย์ แสงวิรະพันธุ์ศิริ , 72 หน้า. ISBN 974-636-728-5

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำระบบควบคุมแบบฟuzzi มาประยุกต์ใช้กับระบบตุ้มน้ำหนักแกว่ง โดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุม โดยระบบควบคุมในการวิจัยนี้มี 2 ระบบ คือระบบควบคุมแบบไขบริค และระบบควบคุมแบบฟuzzi ซึ่งทั้ง 2 ระบบควบคุมนี้แบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกจะควบคุมในช่วงที่ระบบไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear) คือตั้งแต่ตำแหน่งจุดต่ำสุด จนถึงจุดที่มุ่งมองศาลอยู่ในช่วง -30 องศาถึง 30 องศา จากจุดสูงสุด ซึ่งทั้ง 2 ระบบควบคุมจะมีส่วนควบคุมส่วนแรกที่เหมือนกัน ซึ่งในส่วนนี้จะเป็นระบบควบคุมแบบฟuzzi ส่วนที่สอง จะควบคุมในช่วงที่ระบบเป็นเชิงเส้น (Linear) คือ -30 องศา ถึง 30 องศา จากจุดสูงสุด โดยที่ในส่วนที่สอง ทั้ง 2 ระบบควบคุมจะไม่เหมือนกัน ระบบควบคุมแบบไขบริคจะใช้วิธีควบคุมแบบวางตำแหน่งโพล(Pole Placement) ในขณะที่ระบบควบคุมแบบฟuzzi จะใช้วิธีควบคุมแบบฟuzzi

จากการทดลองเบื้องต้นโปรแกรม และทดสอบจริง ทั้ง 2 ระบบสามารถทำงานได้ โดยมีการทำงานที่ใกล้เคียงกัน คือ ควบคุมตำแหน่งมุ่งมองศาลของตุ้มน้ำหนักให้อยู่ในช่วงไม่เกิน 2% ของ 180 องศา ได้ตามต้องการ แต่จะมีปัญหาในการควบคุมตำแหน่ง  $x$  บ้าง เมื่อจากระบบตุ้มน้ำหนักแกว่งที่สร้างขึ้นมา ไม่สามารถอย่างแท้จริง เมื่อจากมีปัญหาต่างๆ เช่น ศูนย์ของระบบส่งกำลัง (มอเตอร์, เกียร์ทด., ญี่เลท์ต่อ จำกเกียร์ทดและมีลวดสลิงพันอยู่) ไม่ได้ศูนย์ ทำให้การเคลื่อนที่ของระบบไม่สมมาตร หรือ ระบบลวดสลิงที่มีการยืดตัวในขณะที่ทดสอบ รวมทั้งค่าความละเอียดของเนอนโคลเดอร์ที่น้อยเกินไป ทั้งหมดทำให้การควบคุมตำแหน่ง  $x$  ไม่ได้ผลเท่าที่ควร

ศูนย์วิทยบรหพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ..... วิศวกรรมเครื่องกล  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมเครื่องกล  
ปีการศึกษา ..... 2539

ลายมือชื่อนิสิต ..... อรุณรัตน์ ใจดี  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ..... อ.ดร. วิวัฒน์ ใจดี  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

พิมพ์ดันดับที่ก้าวหน้าในวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพื่อแสดงผลลัพธ์

## 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 divided into 2 paths in both cases. The first path is nonlinear control which covers the motion ( $\theta$ ) range between 150 degrees and 150 degrees measured from 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 ( $\theta=0$ ) to  $\theta$  within +30 degree from upper position ( $\theta=180$ ). 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 achieved. 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 unsymmetrical 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.

ศูนย์วิทยทรรพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2539

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดีเยี่ยมของบุคคลหลายฝ่าย บุคคลแรกที่จะต้องขอถวายก่อนใครในที่นี้ คือ รศ.ดร.วิญูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้กรุณาเสียสละเวลาอย่างให้คำแนะนำนำปรึกษาและให้ข้อคิดเห็นต่าง ๆ ในการวิจัยมาตั้งแต่ต้น รวมทั้งช่วยเหลือเงินทุนต่าง ๆ มาสนับสนุนงานวิทยานิพนธ์นี้ จนงานสำเร็จ ลุล่วงไปด้วยดี พร้อมกันนี้ของขอนคุณคุณไพรัช ตั้งพรประเสริฐที่ให้วางไฟฟ้านางวงจร และ ขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยบางส่วนที่ใช้ในการทำวิจัยครั้งนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

|                                    | หน้า |
|------------------------------------|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย .....              | ๑    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....           | ๔    |
| กิตติกรรมประกาศ .....              | ๗    |
| สารบัญภาพ .....                    | ๙    |
| บทที่                              |      |
| 1. บทนำ .....                      | ๑    |
| 2. ฟื้นฟูชีวิต .....               | ๕    |
| 3. การควบคุมแบบไข่บริด .....       | ๑๘   |
| 4. ระบบควบคุมแบบฟืชซี .....        | ๓๘   |
| 5. การทดลองและวิเคราะห์ผล .....    | ๔๗   |
| 6. สรุปผลการทดลองและข้อแนะนำ ..... | ๕๘   |
| บรรณานุกรม .....                   | ๖๐   |
| ภาคผนวก                            |      |
| ภาคผนวก ก .....                    | ๖๑   |
| ภาคผนวก ข .....                    | ๖๔   |
| ภาคผนวก ค .....                    | ๖๘   |
| ภาคผนวก ง .....                    | ๗๐   |
| ประวัติผู้วิจัย .....              | ๗๒   |

ศูนย์วิทยทรพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญภาพ

| รูปที่                                                | หน้า |
|-------------------------------------------------------|------|
| 2.1 ฟิชชีเซต .....                                    | 5    |
| 2.2 เซตที่มีขอบเขต (Crip set) .....                   | 6    |
| 2.3 ฟิชชีเซตในรูปแบบ S curve .....                    | 8    |
| 2.4 ฟิชชีเซตในรูปแบบ Π .....                          | 9    |
| 2.5 ฟิชชีเซตในรูปสามเหลี่ยม .....                     | 9    |
| 2.6 การถูนีบฟิชชีเซต .....                            | 10   |
| 2.7 การอินเตอร์เซกชันฟิชชีเซต .....                   | 11   |
| 2.8 การคอมพรีเมนท์ฟิชชีเซต .....                      | 12   |
| 2.9 เปรีบันเทีบค่าฟิชชีของเซต A,B .....               | 16   |
| 3.1 แบบจำลองของระบบและมุมองศาสต์ฯ .....               | 18   |
| 3.2 ตำแหน่ง Quadrant ค่า .....                        | 18   |
| 3.3 ระบบควบคุมแบบฟิชชีส่วนที่หนึ่ง .....              | 19   |
| 3.4 Membership Function ของมุมองศาสแบบ Pendulum ..... | 20   |
| 3.5 Membership Function ของระยะทาง X .....            | 20   |
| 3.6 Membership Function ของสัญญาณ output .....        | 21   |
| 3.7 Membership Function ของมุมองศาสแบบ Pendulum ..... | 21   |
| 3.8 Membership Function ของระยะทาง X .....            | 22   |
| 3.9 Block Diagram ของระบบ Fuzzyfier .....             | 22   |
| 3.10 ตารางกฎพื้นฐานของฟิชชี .....                     | 23   |
| 3.11 ตำแหน่งมุมองศาสต์ฯ ตามตาราง .....                | 24   |
| 3.12 ตำแหน่งมุมองศาสต์ฯ ตามตาราง .....                | 24   |
| 3.13 ตารางค่าของ output ที่ input ค่า .. 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)

| หัวที่                                                                  | หน้า |
|-------------------------------------------------------------------------|------|
| 3.17 output ของ process 4 .....                                         | 28   |
| 3.18 ฟิล์มเบตของ output รวม .....                                       | 28   |
| 3.19 ฟิล์มเบตรวมของ output .....                                        | 29   |
| 3.20 Block Diagram ของ fuzzy base rule .....                            | 29   |
| 3.21 ฟิล์มเบตรวมของ output .....                                        | 30   |
| 3.22 ระบบควบคุมแบบ Linear state feedback control (pole placement) ..... | 31   |
| 3.23 แรงต่าง ๆ ใน pendulum .....                                        | 32   |
| 4.1 ระบบควบคุมแบบฟิล์มเบตส่วนที่สอง .....                               | 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 Fuzzifier .....                                   | 42   |
| 4.7 Block Diagram ของระบบทาง X .....                                    | 46   |

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย