การควบคุมแขนกลข้อต่อเดียวแบบอ่อนตัวด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซี

นายทรงพันธ์ ทองศรี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-635-268-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

T 143247 012

FUZZY LOGIC CONTROL OF ONE-LINK FLEXIBLE ROBOT ARMS

Mr. Songpun Tongsri

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Electrical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1996

ISBN 974-635-268-7

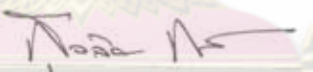
หัวข้อวิทยานิพนธ์	การควบคุมแขนกลข้อต่อเดียวแบบอ่อนตัวด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซี
โดย	นาย ทรงพันธ์ ทองศรี
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. วัชรพงษ์ โชวิฑูรกิจ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

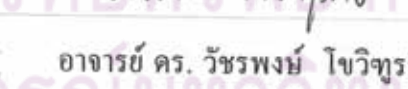
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ สุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



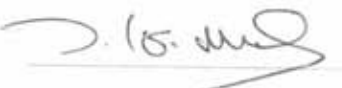
ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุวลัย กลั่นความดี)



อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร. วัชรพงษ์ โชวิฑูรกิจ)



กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. วราภรณ์ เชาว์วิศิษฐ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

ทรงพันธ์ ทองศรี : การควบคุมแขนกลข้อต่อเดียวแบบอ่อนตัวด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซี
(FUZZY LOGIC CONTROL OF ONE LINK FLEXIBLE ROBOT ARMS)
อ. ที่ปรึกษา : อ. ดร. วัชรพงษ์ โชควิฑูรกิจ, 85 หน้า. ISBN 974-635-268-7

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอวิธีการควบคุมแขนกลข้อต่อเดียวแบบอ่อนตัวด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี ตัวควบคุมประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรง ซึ่งใช้ตัวควบคุมแบบตัวชดเชยแบบล้ำหน้า และส่วนควบคุมการแกว่งของแขนกลแบบอ่อนตัว ซึ่งใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี

จากผลการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์ และการควบคุมแขนกลในเวลาจริง พบว่าตัวควบคุมสามารถควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรงได้อย่างแม่นยำ และลดการแกว่งของแขนกลได้อย่างเป็นที่น่าพอใจ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต ทรงพันธ์ ทองศรี

สาขาวิชา ระบบควบคุม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา วัชรพงษ์ โชควิฑูรกิจ

ปีการศึกษา 2539

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C615685 : MAJOR : ELECTRICAL ENGINEERING
KEY WORD: FUZZY SET / FUZZY LOGIC CONTROL / BENDING

SONGPUN TONGSRI : FUZZY LOGIC CONTROL OF ONE LINK FLEXIBLE ROBOT ARMS. THESIS ADVISOR : WATCHARAPONG KHOVIDHUNGIJ, Ph. D. Eng. 85 pp.
ISBN 974-635-268-7

This thesis presents a method for controlling a one-link flexible robot arm using a fuzzy controller. The controller consists of two parts, namely, position control of a dc motor by a lead compensate controller, and vibration control of the flexible arm by a fuzzy logic controller.

Both simulation results and real-time control of the plant show that the controller can control the position of the dc motor accurately and reduce the bending vibration of the flexible arm satisfactory.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต ทรงพันธ์ ทองศรี

สาขาวิชา ระบบควบคุม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา วัชรพงษ์

ปีการศึกษา 2539

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของอาจารย์ วัชรพงษ์ โชวิฑูรกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. สุวลัย กลั่นความดี ประธานกรรมการ รองศาสตราจารย์ ดร. วราภรณ์ เชาว์วิศิษฐ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำข้อคิดเห็นต่างๆในการวิจัยด้วยดีมาตลอดและเนื่องจากการวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากโครงการศิษย์ก้นกุฏิของภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จึงใคร่ขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ นอกจากนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆ และรุ่นน้องนิสิตร่วมสาขาวิศวกรรมระบบควบคุมที่เป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือด้วยดีมาโดยตลอด

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอบพระคุณมารดา และพี่ชาย ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญภาพ ..... ฐ

บทที่

1. บทนำ **1**

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

จุดประสงค์ของวิทยานิพนธ์ 4

ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ 4

ขั้นตอนการดำเนินงาน 4

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

โครงสร้างของวิทยานิพนธ์ 5

2. ระบบตรรกศาสตร์ฟัซซี **6**

ที่มาและความสำคัญของฟัซซีเซต 6

นิยามของฟัซซีเซต 8

เซตที่สัมพันธ์กับฟัซซีเซต 12

ตัวแปรเชิงภาษา 14

คำขยาย 15

การดำเนินการฟัซซี 17

ความสัมพันธ์ฟัซซี 18

การให้เหตุผลโดยประมาณ 20

กฎการนิรนัยฟัซซี 20

ฟัซซีอิมพลีเคชันฟังก์ชัน 21

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

ระบบตรรกศาสตร์ฟัซซี 22
ประเภทของระบบตรรกศาสตร์ฟัซซี 22
ส่วนประกอบของระบบตรรกศาสตร์ฟัซซี 25
ประโยคเงื่อนไขฟังก์ชันและกฎฟัซซี 26
การออกแบบระบบฟัซซี 27
หลักการแปลงฟัซซี 27
ฐานข้อมูล 28
การแบ่งช่วง UOD 28
การปรับ UOD 29
การแบ่งปริภูมิขาเข้าและขาออก 29
ความสมบูรณ์ 30
ฐานกฎ 30
ที่มาและการได้มาของกฎฟัซซี 31
ตรรกการตัดสินใจ 33
วิธีการแปลงกลับฟัซซี 34

3. ระบบแขนกลข้อต่อเดียวแบบอ่อนตัว 35

ระบบแขนกลข้อต่อเดียวแบบอ่อนตัว 35
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบแขนกลข้อต่อเดียวแบบอ่อนตัว 38
การควบคุมตำแหน่งของแขนกลข้อต่อเดียวแบบอ่อนตัว 42
การจำลองระบบแขนกลข้อต่อเดียวแบบอ่อนตัว 42
เมื่อป้อนสัญญาณเข้าเป็นแบบขั้น 43
เมื่อป้อนสัญญาณเข้าเป็นแบบพัลส์ 46
การเปลี่ยนความยาวของแขนกลแบบอ่อนตัว 49
การเพิ่มมวลที่ปลายของแขนกลแบบอ่อนตัว 52

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4. การออกแบบตัวควบคุมด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซี 56

จุดมุ่งหมายของการควบคุม 56

การออกแบบตัวควบคุมแบบตรรกศาสตร์ฟัซซี 56

การกำหนดสัญญาณเข้าและสัญญาณออก 57

การกำหนดตัวแปรเชิงภาษา 58

การกำหนดกฎในการควบคุม 62

เมื่อกำหนดกฎในการควบคุมเป็น 3 กฎ 5กฎ และ 7 กฎ 62

ตำแหน่งปลายของแขนกลข้อต่อเดียวแบบอ่อนตัวเมื่อใช้กฎ
ในการควบคุม 3 กฎ 64

ตำแหน่งปลายของแขนกลข้อต่อเดียวแบบอ่อนตัวเมื่อใช้กฎ
ในการควบคุม 5 กฎ 67

ตำแหน่งปลายของแขนกลข้อต่อเดียวแบบอ่อนตัวเมื่อใช้กฎ
ในการควบคุม 7 กฎ 68

5. การควบคุมระบบแขนกลข้อต่อเดียวแบบอ่อนตัว 70

ระบบแขนกลข้อต่อเดียวแบบอ่อนตัว 70

การตั้งค่าตัวตรวจรู้ 71

การควบคุมตำแหน่งของระบบแขนกลข้อต่อเดียวแบบอ่อนตัว 72

การควบคุมการแกว่งของแขนกลแบบอ่อนตัว 75

6. สรุปข้อเสนอแนะ 80

สรุป 80

ข้อดีของตัวควบคุม 81

ข้อเสียของตัวควบคุม 81

ข้อเสนอแนะ 81

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

รายการอ้างอิง..... 82

ประวัติผู้เขียน 85

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าความเป็นสมาชิกของเซต และฟัซซีเซต 8

รูปที่ 2.2 กราฟแสดงระดับความเป็นสมาชิกของเซตและฟัซซีเซต 9

รูปที่ 2.3 กราฟแสดงซัพพอร์ทแกนและความสูงของเซต 11

รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเซตและฟัซซีเซต 13

รูปที่ 2.5 แสดงตัวแปรเชิงภาษา 14

รูปที่ 2.6 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างฟัซซีเซต Small, CON(Small) และ DIL(Small) 16

รูปที่ 2.7 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างฟัซซีเซต Small, INTEN(Small) และ FUZZ(Small) 17

รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของตัวควบคุมแบบฟัซซี 25

รูปที่ 3.1 แสดงส่วนประกอบของแขนกลข้อต่อเดียวแบบอ่อนตัว 36

รูปที่ 3.2 แสดงภาพด้านบนการหมุนของแขนกลแบบอ่อนตัว 37

รูปที่ 3.3 แสดงแผนภาพกรอบของระบบแขนกลข้อต่อเดียวแบบอ่อนตัว 37

รูปที่ 3.4 แสดงแบบจำลองของระบบแขนกลข้อต่อเดียวแบบอ่อนตัว 38

รูปที่ 3.5 แสดงตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรงเมื่อป้อนสัญญาณเข้าเป็น สัญญาณแบบขั้นที่ 10 และ 20 องศา 43

รูปที่ 3.6 แสดงตำแหน่งปลายของแขนกลแบบอ่อนตัวเมื่อป้อนสัญญาณ เข้าเป็นสัญญาณแบบขั้นที่ 10 และ 20 องศา 43

รูปที่ 3.7 แสดงตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรงเมื่อป้อนสัญญาณเข้าเป็น สัญญาณแบบขั้นที่ 30 และ 40 องศา 44

รูปที่ 3.8 แสดงตำแหน่งปลายของแขนกลแบบอ่อนตัวเมื่อป้อนสัญญาณ เข้าเป็นสัญญาณแบบขั้นที่ 30 และ 40 องศา 44

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.9 แสดงตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรงเมื่อป้อนสัญญาณเข้าเป็น
ค่า ±10 และ ±20 องศา 46
รูปที่ 3.10 แสดงตำแหน่งปลายของแขนกลแบบอ่อนตัวเมื่อป้อนสัญญาณ
เข้าเป็นค่า ±10 และ ±20 องศา 46
รูปที่ 3.11 แสดงตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรงเมื่อป้อนสัญญาณเข้าเป็น
ค่า ±30 และ ±40 องศา 47
รูปที่ 3.12 แสดงตำแหน่งปลายของแขนกลแบบอ่อนตัวเมื่อป้อนสัญญาณ
เข้าเป็นค่า ±30 และ ±40 องศา 47
รูปที่ 3.13 แสดงตำแหน่งปลายของแขนกลแบบอ่อนตัวเมื่อแขนกลมี
ความยาว 20 เซนติเมตรและสัญญาณแบบขั้นที่ 10 องศา 49
รูปที่ 3.14 แสดงตำแหน่งปลายของแขนกลแบบอ่อนตัวเมื่อแขนกลมี
ความยาว 30 และ 40 เซนติเมตรและสัญญาณแบบขั้นที่ 10 องศา 50
รูปที่ 3.15 แสดงตำแหน่งปลายของแขนกลแบบอ่อนตัวเมื่อแขนกลมี
ความยาว 50 และ 60 เซนติเมตรและสัญญาณแบบขั้นที่ 10 องศา 50
รูปที่ 3.16 แสดงตำแหน่งปลายของแขนกลแบบอ่อนตัวเมื่อไม่มีการเพิ่มมวล
ที่ปลายแขนกลและสัญญาณแบบขั้นที่ 10 องศา 52
รูปที่ 3.17 แสดงตำแหน่งปลายของแขนกลแบบอ่อนตัวเมื่อเพิ่มมวลที่ปลาย
แขนกลมีขนาด 0.02 และ 0.04 กิโลกรัมและสัญญาณเข้า
แบบขั้นที่ 10 องศา 53
รูปที่ 3.18 แสดงตำแหน่งปลายของแขนกลแบบอ่อนตัวเมื่อเพิ่มมวลที่ปลาย
แขนกลมีขนาด 0.06 และ 0.08 กิโลกรัมและสัญญาณเข้า
แบบขั้นที่ 10 องศา 53

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.19 แสดงตำแหน่งปลายของแขนกลแบบอ่อนตัวเมื่อเพิ่มมวลที่ปลายแขนกลมีขนาด 0.1 และ 0.15 กิโลกรัมและสัญญาณเข้าแบบขั้นที่ 10 องศา 54

รูปที่ 4.1 แสดงแผนภาพของสัญญาณเข้าและสัญญาณออกของตัวควบคุม 57

รูปที่ 4.2 แสดงแผนภาพกรอบของตัวควบคุมระบบแขนกลแบบอ่อนตัว 57

รูปที่ 4.3 แสดงตัวแปรเชิงภาษาและค่าความเป็นสมาชิกของสัญญาณคลาดเคลื่อนเมื่อจำนวนตัวแปรเชิงภาษามี 3 ตัวแปร 59

รูปที่ 4.4 แสดงตัวแปรเชิงภาษาและค่าความเป็นสมาชิกของสัญญาณควบคุมเมื่อจำนวนตัวแปรเชิงภาษามี 3 ตัวแปร 60

รูปที่ 4.5 ค่าความเป็นสมาชิกของสัญญาณคลาดเคลื่อนและสัญญาณควบคุมเมื่อจำนวนตัวแปรเชิงภาษามี 5 ตัวแปร 61

รูปที่ 4.6 ค่าความเป็นสมาชิกของสัญญาณคลาดเคลื่อนและสัญญาณควบคุมเมื่อจำนวนตัวแปรเชิงภาษามี 7 ตัวแปร 61

รูปที่ 4.7 แสดงตำแหน่งปลายแขนกลแบบอ่อนตัวเมื่อสัญญาณเข้าเป็นแบบขั้นที่ 10 และ 20 องศา 64

รูปที่ 4.8 แสดงตำแหน่งปลายแขนกลแบบอ่อนตัวเมื่อสัญญาณเข้าเป็นแบบขั้นที่ 10 และ 20 องศาโดยใช้กฎในการควบคุม 3 กฎ 64

รูปที่ 4.9 แสดงตำแหน่งปลายแขนกลแบบอ่อนตัวเมื่อสัญญาณเข้าเป็นแบบขั้นที่ 30 และ 40 องศา 65

รูปที่ 4.10 แสดงตำแหน่งปลายแขนกลแบบอ่อนตัวเมื่อสัญญาณเข้าเป็นแบบขั้นที่ 30 และ 40 องศาโดยใช้กฎในการควบคุม 3 กฎ 65

รูปที่ 4.11 แสดงตำแหน่งปลายแขนกลแบบอ่อนตัวเมื่อสัญญาณเข้าเป็นแบบขั้นที่ 10 และ 20 องศาโดยใช้กฎในการควบคุม 5 กฎ 67

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.12 แสดงตำแหน่งปลายแขนกลแบบอ่อนตัวเมื่อสัญญาณเข้าเป็นแบบขั้นที่ 30 และ 40 องศาโดยใช้กฎในการควบคุม 5 กฎ 67

รูปที่ 4.13 แสดงตำแหน่งปลายแขนกลแบบอ่อนตัวเมื่อสัญญาณเข้าเป็นแบบขั้นที่ 10 และ 20 องศาโดยใช้กฎในการควบคุม 7 กฎ 68

รูปที่ 4.14 แสดงตำแหน่งปลายแขนกลแบบอ่อนตัวเมื่อสัญญาณเข้าเป็นแบบขั้นที่ 30 และ 40 องศาโดยใช้กฎในการควบคุม 7 กฎ 69

รูปที่ 5.1 แสดงการรับสัญญาณเข้าและสัญญาณออกของตัวควบคุม 71

รูปที่ 5.2 แผนภาพกรอบของการควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรง 72

รูปที่ 5.3 แสดงการควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรงและตำแหน่งปลายของแขนกลแบบอ่อนเมื่อป้อนสัญญาณเข้าเป็น ±10 องศา 73

รูปที่ 5.4 แสดงการควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรงและตำแหน่งปลายของแขนกลแบบอ่อนเมื่อป้อนสัญญาณเข้าเป็น ±20 องศา 73

รูปที่ 5.5 แสดงการควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรงและตำแหน่งปลายของแขนกลแบบอ่อนเมื่อป้อนสัญญาณเข้าเป็น ±30 องศา 74

รูปที่ 5.6 แสดงการควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรงและตำแหน่งปลายของแขนกลแบบอ่อนเมื่อป้อนสัญญาณเข้าเป็น ±40 องศา 74

รูปที่ 5.7 แสดงการควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรงและตำแหน่งปลายของแขนกลแบบอ่อนเมื่อป้อนสัญญาณเข้าเป็น ±10 องศา 77

รูปที่ 5.8 แสดงการควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรงและตำแหน่งปลายของแขนกลแบบอ่อนเมื่อป้อนสัญญาณเข้าเป็น ±20 องศา 77

รูปที่ 5.9 แสดงการควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรงและตำแหน่งปลายของแขนกลแบบอ่อนเมื่อป้อนสัญญาณเข้าเป็น ±30 องศา 78

รูปที่ 5.10 แสดงการควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์กระแสตรงและตำแหน่งปลายของแขนกลแบบอ่อนเมื่อป้อนสัญญาณเข้าเป็น ±40 องศา 78

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย