

การเปรียบเทียบระหว่างตัวควบคุมแบบพีชชีชนิดที่มีการปรับตัวกับตัวควบคุมที่ใช้กาลมานฟิลเตอร์

นายวิบูลย์ ธรรมทินโน



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-635-269-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

COMPARISON OF ADAPTIVE FUZZY CONTROLLERS AND KALMAN FILTER CONTROLLER

Mr. Wiboon Thamtinno

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 974-635-269-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การเปรียบเทียบระหว่างตัวควบคุมแบบพีชชีชนิดที่มีการปรับตัวกับตัว
ควบคุมที่ใช้กาลมานฟิลเตอร์

โดย

นาย วิบูลย์ ธรรมทินโน

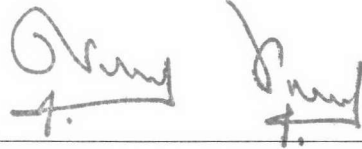
ภาควิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์.ดร. สุวลัย กลั่นความดี

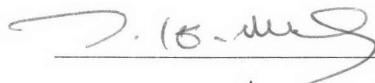
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการ
การศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

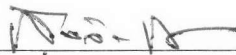
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ สุภวัฒน์ ชุตินวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



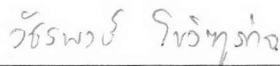
ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. วราภรณ์ เชาว์วิศิษฐ)



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์.ดร. สุวลัย กลั่นความดี)



กรรมการ

(อาจารย์ ดร. วัชรพงษ์ โขวิทุงกิจ)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

วิบูลย์ ธรรมทินโน : การเปรียบเทียบระหว่างตัวควบคุมแบบฟัซซีชนิดที่มีการปรับตัวกับ
ตัวควบคุมที่ใช้กาลมานฟิลเตอร์ (COMPARISON OF ADAPTIVE FUZZY CONTROLLERS
AND KALMAN FILTER CONTROLLER) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. สุวลัย กลั่นความดี, 138 หน้า.
ISBN 974-635-269-5.

งานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาผลของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นกับระบบและความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดทั้งแบบที่เป็นชนิดขาวแบบเกาส์และชนิดสีแบบเกาส์ ระหว่างตัวควบคุมฟัซซีชนิดที่มีการปรับตัวและตัวชดเชยที่ใช้ตัวกรองกาลมาน โดยทดสอบกับเพนดูลัมผกผัน

ผลการทดสอบด้วยแบบจำลองโดยใช้คอมพิวเตอร์ พบว่าตัวควบคุมฟัซซีชนิดที่มีการปรับตัวสามารถลดผลของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นกับระบบ และความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดทั้งแบบที่เป็นชนิดขาวแบบเกาส์และชนิดสีแบบเกาส์ได้ดีกว่าตัวชดเชยที่มีตัวกรองกาลมาน แม้ว่าสัญญาณรบกวนที่เข้าสู่ระบบจะมีค่าความแปรปรวนเปลี่ยนไปจากที่กำหนดไว้ในการออกแบบตัวกรองกาลมานหรือใช้ในการเรียนรู้ตัวควบคุมฟัซซีชนิดที่มีการปรับตัว นอกจากนี้ตัวควบคุมฟัซซีชนิดที่มีการปรับตัวยังสามารถลดผลของสัญญาณรบกวนได้ดีเมื่อแบบจำลองระบบมีความไม่เป็นเชิงเส้น ในขณะที่ความสามารถในการลดผลของสัญญาณรบกวนของตัวกรองกาลมานลดลง

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิชา ระบบควบคุม
ปีการศึกษา 2539

ลายมือชื่อนิติ วิบูลย์ ธรรมทินโน
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา [ลายมือ]
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

พิมพ์ต้นฉบับบทความวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

C716034 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING
KEY WORD: ADAPTIVE FUZZY CONTROLLER / KALMAN FILTER / CONTROL SYSTEM

WIBOON THAMTINNO : COMPARISION OF ADAPTIVE FUZZY CONTROLLERS AND
KALMAN FILTER CONTROLLER. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. SUVALAI GLANKWAMDEE,
Ph.D. 138 pp. ISBN 974-635-269-5.

In this thesis, adaptive fuzzy control system is developed and compared with Kalman filter control system for inverted pendulum. The Kalman filter is an optimal stochastic linear filter and requires an explicit mathematical model of how control outputs depend on control inputs. Fuzzy controller does not require a mathematical model. Fuzzy controller also differ in the type of uncertainty. Simulation tested each system's response to a different family of uncertainty environment. Under normal operating conditions, when the unmodeled effects noise variance is small, the controllers perform very well. Under move uncertain condition their performance differs. Simulations suggest that fuzzy controller may provide a robust effective alternative to linear Kalman filter.

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....

สาขาวิชา.....ระบบควบคุม.....

ปีการศึกษา..... 2539.....

ลายมือชื่อนิสิต..... วิบูลย์ ธรรมรัตน์.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... สุวัลย์ กลังควมดี.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วย ความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของอาจารย์ รศ. ดร. สุวลัย กลั่นความดี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำข้อคิดเห็นต่าง ๆ ในการวิจัยด้วยดีมาตลอด ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านได้แก่ รศ. ดร. วราภรณ์ เชาว์วิศิษฐ และ อ.ดร. วัชรพงษ์ โขวิฑูรกิจ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำต่าง ๆ ในงานวิจัยนี้ นอกจากนี้ ขอขอบคุณพี่ เพื่อนๆ และรุ่นน้องนิสิตร่วมสาขาวิศวกรรมระบบควบคุมที่เป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือด้วยดีมาโดยตลอด

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอบพระคุณบิดามารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัย เสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ค
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	2
จุดประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	4
ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	4
โครงสร้างของวิทยานิพนธ์.....	5
2 ฟัชซีลอจิกและการปรับตัวควบคุมฟัชซีลอจิก.....	6
เซตฟัชซี.....	6
การดำเนินการเชิงทฤษฎีเซต.....	8
ฐานกฎฟัชซี.....	9
โครงสร้างพื้นฐานของตัวควบคุมตรรกศาสตร์ฟัชซี.....	10
1. ฟัชซีฟิเคชัน.....	11
2. ฐานความรู้.....	12
3. เครื่องอนุมาน.....	13
4. ดีฟัชซีฟิเคชัน.....	14
ระบบตรรกศาสตร์ฟัชซี.....	15
1. ระบบฟัชซีที่ใช้กฎแบบ Mamdani.....	15
2. ระบบฟัชซีที่ใช้กฎแบบ Sugeno.....	19

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
ตัวควบคุมตรรกศาสตร์พีชคณิตที่มีการปรับตัว	19
1. การปรับตัวควบคุมพีชคณิตแบบทางอ้อม	20
2. การปรับตัวควบคุมพีชคณิตแบบทางตรง	21
วิธีการเรียนรู้เพื่อปรับปรุงตัวควบคุมตรรกศาสตร์พีชคณิต.....	22
1. การเรียนรู้เพื่อปรับปรุงตัวควบคุมตรรกศาสตร์พีชคณิตโดยใช้ข่ายงาน ระบบประสาท	23
2. การเรียนรู้เพื่อปรับปรุงตัวควบคุมตรรกศาสตร์พีชคณิตโดยใช้วิธีกำลัง สองน้อยสุดเชิงตั้งฉาก.....	27
3 การออกแบบตัวควบคุมชดเชยชนิดล้าหน้าและตัวกรองกาลมาน	34
การสร้างแบบจำลองระบบ	34
การสร้างแบบจำลองเชิงเส้นจากระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น.....	37
การออกแบบตัวควบคุมชดเชยชนิดล้าหน้า.....	39
1. การแปลงสมการระบบให้อยู่ในรูปสมการไม่ต่อเนื่อง.....	39
2. โครงสร้างตัวควบคุมของตัวชดเชยชนิดล้าหน้า	40
3. การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ K ที่เหมาะสมที่สุด.....	42
ผลของตัวชดเชยชนิดล้าหน้าต่อระบบจำลองที่เป็นเชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้น	43
ผลของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นกับระบบและเนื่องจากการวัดชนิดขาวแบบ เกาส์เมื่อไม่มีตัวกรองกาลมาน	44
ผลของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นกับระบบชนิดสี่แบบเกาส์และความคลาด เคลื่อนจากการวัดชนิดขาวแบบเกาส์เมื่อไม่มีตัวกรองกาลมาน.....	47
ผลของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นกับระบบชนิดขาวแบบเกาส์และผลของ ความคลาดเคลื่อนจากการวัดชนิดสี่แบบเกาส์ เมื่อไม่มีตัวกรองกาลมาน.....	49
การออกแบบตัวกรองกาลมานเมื่อสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นกับระบบ และการวัดเป็นชนิดขาวแบบเกาส์.....	51
การลดผลสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นกับระบบและความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการ วัดชนิดขาวแบบเกาส์ของตัวกรองกาลมาน	52

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
การออกแบบตัวกรองคาลมานเมื่อสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นกับระบบ เป็นชนิดสี่แบบเกาส์	57
ผลของตัวกรองคาลมานต่อสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นกับระบบชนิดสี่แบบเกาส์ และการวัดชนิดขาวแบบเกาส์	57
การออกแบบตัวกรองคาลมานเมื่อความผิดพลาดเนื่องจากการวัดเป็นชนิด สี่แบบเกาส์	61
ผลของตัวกรองคาลมานต่อสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นกับระบบชนิดขาวแบบ เกาส์และความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดชนิดสี่แบบเกาส์	62
การลดผลของสัญญาณรบกวนของตัวกรองคาลมานเมื่อระบบ มีความไม่เป็นเชิงเส้น	66
สรุป	69
4 การออกแบบตัวควบคุมพีชชีชนิดที่มีการปรับตัว	71
การออกแบบตัวควบคุมพีชชีชนิดที่มีการปรับตัวโดยใช้ข่ายงาน ระบบประสาท	71
ผลของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นกับระบบและความคลาดเคลื่อนเนื่องจาก การวัดชนิดขาวแบบเกาส์ที่มีต่อตัวควบคุมพีชชีชนิดที่มีการปรับตัว	81
ผลของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นกับระบบชนิดสี่แบบเกาส์และความคลาด เคลื่อนเนื่องจากการวัดชนิดขาวแบบเกาส์ที่มีต่อตัวควบคุมพีชชี ชนิดที่มีการปรับตัว	88
ผลของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นกับระบบชนิดขาวแบบเกาส์และความ คลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดชนิดสี่แบบเกาส์ที่มีต่อตัวควบคุมพีชชี ชนิดที่มีการปรับตัว	95
การออกแบบตัวควบคุมพีชชีชนิดที่มีการปรับตัวโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยสุด เชิงตั้งฉาก	101
สรุป	102

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5 สรุปลและข้อเสนอแนะ	103
สรุปลผลการทำวิทยานิพนธ์.....	103
ข้อเสนอแนะ.....	106
รายการอ้างอิง.....	107
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. ตารางเปรียบเทียบการลดผลของสัญญาณรบกวนระหว่าง ตัวกรองกาลมานและตัวควบคุมพีชชีชนิดที่มีการปรับตัวโดยใช้ ข่ายงานระบบประสาท	111
ภาคผนวก ข. ตารางสรุปลการลดผลของสัญญาณรบกวนระหว่างตัวกรองกาลมาน และตัวควบคุมพีชชีชนิดที่มีการปรับตัวโดยใช้ข่ายงานระบบประสาท.....	133
ประวัติผู้เขียน	138

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ ก.1 แสดงการเปรียบเทียบการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดและ สัญญาณรบกวนเนื่องจากลมพัดก้านชนิดขาวแบบเกาส์ที่มีค่าความแปรปรวน เท่ากับ $0.1 N^2$	114
ตารางที่ ก.2 แสดงการเปรียบเทียบการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดและ สัญญาณรบกวนเนื่องจากลมพัดก้านชนิดขาวแบบเกาส์ที่มีค่าความแปรปรวน เท่ากับ $0.2 N^2$	115
ตารางที่ ก.3 แสดงการเปรียบเทียบการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดและ สัญญาณรบกวนเนื่องจากลมพัดก้านชนิดขาวแบบเกาส์ที่มีค่าความแปรปรวน เท่ากับ $0.4 N^2$	115
ตารางที่ ก.4 แสดงการเปรียบเทียบการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดและ สัญญาณรบกวนเนื่องจากลมพัดก้านชนิดขาวแบบเกาส์ที่มีค่าความแปรปรวน เท่ากับ $0.5 N^2$	116
ตารางที่ ก.5 แสดงการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดและสัญญาณรบกวนเนื่องจาก ลมพัดก้านชนิดขาวแบบเกาส์ โดยออกแบบหรือเรียนรู้สัญญาณรบกวนที่ค่า ความแปรปรวนเท่ากับ $0.2 N^2$ (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวน เท่ากับ $0.1 N^2$)	116
ตารางที่ ก.6 แสดงการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดและสัญญาณรบกวนเนื่องจาก ลมพัดก้านชนิดขาวแบบเกาส์ โดยออกแบบหรือเรียนรู้สัญญาณรบกวนที่ค่า ความแปรปรวนเท่ากับ $0.2 N^2$ (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวน เท่ากับ $0.2 N^2$)	117
ตารางที่ ก.7 แสดงการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดและสัญญาณรบกวนเนื่องจาก ลมพัดก้านชนิดขาวแบบเกาส์ โดยออกแบบหรือเรียนรู้สัญญาณรบกวนที่ค่า ความแปรปรวนเท่ากับ $0.2 N^2$ (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวน เท่ากับ $0.4 N^2$)	117
ตารางที่ ก.8 แสดงการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดและสัญญาณรบกวนเนื่องจาก พื้นขรุขระชนิดขาวแบบเกาส์ (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวน เท่ากับ $0.1 N^2$)	118

สารบัญตาราง(ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ก.9 แสดงการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดและสัญญาณรบกวนเนื่องจาก พื้นขรุขระชนิดขาวแบบเกาส์ (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวน เท่ากับ 0.5 N^2).....	118
ตารางที่ ก.10 แสดงการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดและสัญญาณรบกวนเนื่องจาก พื้นขรุขระชนิดขาวแบบเกาส์ (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวน เท่ากับ 1 N^2).....	119
ตารางที่ ก.11 แสดงการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดและสัญญาณรบกวนเนื่องจาก พื้นขรุขระชนิดขาวแบบเกาส์ (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวน เท่ากับ 1.5 N^2).....	119
ตารางที่ ก.12 แสดงการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดและสัญญาณรบกวนเนื่องจาก พื้นขรุขระชนิดขาวแบบเกาส์ โดยออกแบบหรือเรียนรู้สัญญาณรบกวนที่ค่า ความแปรปรวนเท่ากับ 0.5 N^2 (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวน เท่ากับ 0.1 N^2).....	120
ตารางที่ ก.13 แสดงการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดและสัญญาณรบกวนเนื่องจาก พื้นขรุขระชนิดขาวแบบเกาส์ โดยออกแบบหรือเรียนรู้สัญญาณรบกวนที่ค่า ความแปรปรวนเท่ากับ 0.5 N^2 (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวน เท่ากับ 0.5 N^2).....	120
ตารางที่ ก.14 แสดงการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดและสัญญาณรบกวนเนื่องจาก พื้นขรุขระชนิดขาวแบบเกาส์ โดยออกแบบหรือเรียนรู้สัญญาณรบกวนที่ค่า ความแปรปรวนเท่ากับ 0.5 N^2 (ค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวน เท่ากับ 1 N^2).....	121
ตารางที่ ก.15 แสดงการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดชนิดขาวแบบเกาส์และ สัญญาณรบกวนเนื่องจากลมพัดก้านชนิดสี่แบบเกาส์ โดยที่ความแปรปรวน ของสัญญาณรบกวนเท่ากับ 0.1 N^2	121
ตารางที่ ก.16 แสดงการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดชนิดขาวแบบเกาส์และ สัญญาณรบกวนเนื่องจากลมพัดก้านชนิดสี่แบบเกาส์ โดยที่ความแปรปรวน ของสัญญาณรบกวนเท่ากับ 0.2 N^2	122

สารบัญตาราง(ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ก.25 แสดงการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดชนิดขาวแบบเกาส์และ สัญญาณรบกวนเนื่องจากพื้นฟูระยะชนิดสี่แบบเกาส์ โดยที่ความแปรปรวน ของสัญญาณรบกวนเท่ากับ $1.5 N^2$	126
ตารางที่ ก.26 แสดงการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดชนิดขาวแบบเกาส์และ สัญญาณรบกวนเนื่องจากพื้นฟูระยะชนิดสี่แบบเกาส์ โดยออกแบบ หรือเรียนรู้สัญญาณรบกวนที่ค่าความแปรปรวนเท่ากับ $0.5 N^2$ (ความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ $0.1 N^2$).....	127
ตารางที่ ก.27 แสดงการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดชนิดขาวแบบเกาส์และ สัญญาณรบกวนเนื่องจากพื้นฟูระยะชนิดสี่แบบเกาส์ โดยออกแบบ หรือเรียนรู้สัญญาณรบกวนที่ค่าความแปรปรวนเท่ากับ $0.5 N^2$ (ความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ $0.5 N^2$).....	127
ตารางที่ ก.28 แสดงการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดชนิดขาวแบบเกาส์และ สัญญาณรบกวนเนื่องจากพื้นฟูระยะชนิดสี่แบบเกาส์ โดยออกแบบ หรือเรียนรู้สัญญาณรบกวนที่ค่าความแปรปรวนเท่ากับ $0.5 N^2$ (ความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ $1.5 N^2$).....	128
ตารางที่ ก.29 แสดงการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดชนิดสี่แบบเกาส์และ สัญญาณรบกวนเนื่องจากลมพัดก้านชนิดขาวแบบเกาส์ที่มีความแปรปรวน เท่ากับ $0.1 N^2$	128
ตารางที่ ก.30 แสดงการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดชนิดสี่แบบเกาส์และ สัญญาณรบกวนเนื่องจากลมพัดก้านชนิดขาวแบบเกาส์ที่มีความแปรปรวน เท่ากับ $0.2 N^2$	129
ตารางที่ ก.31 แสดงการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดชนิดสี่แบบเกาส์และ สัญญาณรบกวนเนื่องจากลมพัดก้านชนิดขาวแบบเกาส์ที่มีความแปรปรวน เท่ากับ $0.4 N^2$	129
ตารางที่ ก.32 แสดงการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดชนิดสี่แบบเกาส์และ สัญญาณรบกวนเนื่องจากลมพัดก้านชนิดขาวแบบเกาส์ที่มีความแปรปรวน เท่ากับ $0.5 N^2$	130

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

<p>ตารางที่ ก.33 แสดงการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดชนิดสี่แบบเกาส์และ สัญญาณรบกวนเนื่องจากลมพัดก้านชนิดขาวแบบเกาส์ โดยออกแบบ หรือเรียนรู้สัญญาณรบกวนที่ค่าความแปรปรวนเท่ากับ $0.2 N^2$ (ความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ $0.1 N^2$).....</p>	130
<p>ตารางที่ ก.34 แสดงการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดชนิดสี่แบบเกาส์และ สัญญาณรบกวนเนื่องจากลมพัดก้านชนิดขาวแบบเกาส์ โดยออกแบบ หรือเรียนรู้สัญญาณรบกวนที่ค่าความแปรปรวนเท่ากับ $0.2 N^2$ (ความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ $0.2 N^2$).....</p>	131
<p>ตารางที่ ก.35 แสดงการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดชนิดสี่แบบเกาส์และ สัญญาณรบกวนเนื่องจากลมพัดก้านชนิดขาวแบบเกาส์ โดยออกแบบ หรือเรียนรู้สัญญาณรบกวนที่ค่าความแปรปรวนเท่ากับ $0.2 N^2$ (ความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ $0.5 N^2$).....</p>	131
<p>ตารางที่ ก.36 แสดงการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดชนิดสี่แบบเกาส์และ สัญญาณรบกวนเนื่องจากพื้นขรุขระชนิดขาวแบบเกาส์ที่มีความแปรปรวน เท่ากับ $0.1 N^2$.....</p>	132
<p>ตารางที่ ก.37 แสดงการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดชนิดสี่แบบเกาส์และ สัญญาณรบกวนเนื่องจากพื้นขรุขระชนิดขาวแบบเกาส์ที่มีความแปรปรวน เท่ากับ $0.5 N^2$.....</p>	132
<p>ตารางที่ ก.38 แสดงการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดชนิดสี่แบบเกาส์และ สัญญาณรบกวนเนื่องจากพื้นขรุขระชนิดขาวแบบเกาส์ที่มีความแปรปรวน เท่ากับ $1 N^2$.....</p>	133
<p>ตารางที่ ก.39 แสดงการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดชนิดสี่แบบเกาส์และ สัญญาณรบกวนเนื่องจากพื้นขรุขระชนิดขาวแบบเกาส์ที่มีความแปรปรวน เท่ากับ $1.5 N^2$.....</p>	133

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

<p>ตารางที่ ก.40 แสดงการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดชนิดสี่แบบเกาส์และ สัญญาณรบกวนเนื่องจากพื้นขรุขระชนิดขาวแบบเกาส์ โดยออกแบบ หรือเรียนรู้สัญญาณรบกวนที่ค่าความแปรปรวนเท่ากับ $0.5 N^2$ (ความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ $0.1 N^2$).....</p>	134
<p>ตารางที่ ก.41 แสดงการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดชนิดสี่แบบเกาส์และ สัญญาณรบกวนเนื่องจากพื้นขรุขระชนิดขาวแบบเกาส์ โดยออกแบบ หรือเรียนรู้สัญญาณรบกวนที่ค่าความแปรปรวนเท่ากับ $0.5 N^2$ (ความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ $0.5 N^2$).....</p>	134
<p>ตารางที่ ก.42 แสดงการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดชนิดสี่แบบเกาส์และ สัญญาณรบกวนเนื่องจากพื้นขรุขระชนิดขาวแบบเกาส์ โดยออกแบบ หรือเรียนรู้สัญญาณรบกวนที่ค่าความแปรปรวนเท่ากับ $0.5 N^2$ (ความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ $1 N^2$).....</p>	135
<p>ตารางที่ ข.1 สรุปการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดและสัญญาณรบกวนเนื่องจาก ลมพัดก้านชนิดขาวแบบเกาส์ เมื่อระบบมีสัญญาณรบกวนที่มีความแปรปรวน ตรงกับค่าที่ออกแบบ.....</p>	136
<p>ตารางที่ ข.2 สรุปการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดและสัญญาณรบกวนเนื่องจาก ลมพัดก้านชนิดขาวแบบเกาส์ เมื่อออกแบบสำหรับสัญญาณรบกวนที่มีความ แปรปรวนเท่ากับ $0.2 N^2$</p>	136
<p>ตารางที่ ข.3 สรุปการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดและสัญญาณรบกวนเนื่องจาก พื้นขรุขระชนิดขาวแบบเกาส์ เมื่อระบบมีสัญญาณรบกวนที่มีความแปรปรวน ตรงกับค่าที่ออกแบบ.....</p>	137
<p>ตารางที่ ข.4 สรุปการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดและสัญญาณรบกวนเนื่องจาก พื้นขรุขระชนิดขาวแบบเกาส์ เมื่อออกแบบสำหรับสัญญาณรบกวนที่มีความ แปรปรวนเท่ากับ $0.5 N^2$</p>	137
<p>ตารางที่ ข.5 สรุปการลดผลความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดชนิดขาวแบบเกาส์และสัญญาณ รบกวนเนื่องจากลมพัดก้านชนิดสี่แบบเกาส์เมื่อสัญญาณรบกวนมีความ แปรปรวนตรงกับค่าที่ออกแบบ</p>	137

สารบัญตาราง(ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ ข.6	สรุปการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดชนิดขาวแบบเกาส์และสัญญาณรบกวนเนื่องจากลมพัดก้านชนิดสี่แบบเกาส์เมื่อออกแบบที่ความแปรปรวนเท่ากับ $0.2 N^2$	138
ตารางที่ ข.7	สรุปการลดผลความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดชนิดขาวแบบเกาส์และสัญญาณรบกวนเนื่องจากพื้นขรุขระชนิดสี่แบบเกาส์เมื่อสัญญาณรบกวนมีความแปรปรวนตรงกับค่าที่ออกแบบ	138
ตารางที่ ข.8	สรุปการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดชนิดขาวแบบเกาส์และสัญญาณรบกวนเนื่องจากพื้นขรุขระชนิดสี่แบบเกาส์ เมื่อออกแบบที่ความแปรปรวนเท่ากับ $0.5 N^2$	138
ตารางที่ ข.9	สรุปการลดผลความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดชนิดสี่แบบเกาส์และสัญญาณรบกวนเนื่องจากลมพัดก้านชนิดขาวแบบเกาส์เมื่อสัญญาณรบกวนมีความแปรปรวนตรงกับค่าที่ออกแบบ	139
ตารางที่ ข.10	สรุปการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดชนิดสี่แบบเกาส์และสัญญาณรบกวนเนื่องจากลมพัดก้านชนิดขาวแบบเกาส์เมื่อออกแบบที่ความแปรปรวนเท่ากับ $0.2 N^2$	139
ตารางที่ ข.11	สรุปการลดผลความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดชนิดสี่แบบเกาส์และสัญญาณรบกวนเนื่องจากพื้นขรุขระชนิดขาวแบบเกาส์เมื่อสัญญาณรบกวนมีความแปรปรวนตรงกับค่าที่ออกแบบ	139
ตารางที่ ข.12	สรุปการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดชนิดสี่แบบเกาส์และสัญญาณรบกวนเนื่องจากพื้นขรุขระชนิดขาวแบบเกาส์ เมื่อออกแบบที่ความแปรปรวนเท่ากับ $0.5 N^2$	140

สารบัญภาพ

		หน้า
รูปที่ 2.1	แสดงเซตที่มีขอบเขตชัดเจนของวันในแต่ละสัปดาห์	6
รูปที่ 2.2	แสดงเซตฟัซซี ของวันหยุดในแต่ละสัปดาห์	7
รูปที่ 2.3	แสดงฟังก์ชันภาวะสมาชิกของเซตความสูงของคน	7
รูปที่ 2.4	ตัวอย่างการดำเนินการทางทฤษฎีเซต	9
รูปที่ 2.5	แสดงองค์ประกอบของตัวควบคุมฟัซซี	11
รูปที่ 2.6	ดีฟัซซีฟิเคชันด้วยวิธีจุดศูนย์ถ่วง	14
รูปที่ 2.7	ตัวอย่าง โครงสร้างของระบบฟัซซีที่ใช้กฎแบบ Mamdani	15
รูปที่ 2.8	ฟัซซีฟิเคชัน	16
รูปที่ 2.9	การดำเนินการทางเซตของระบบฟัซซี	17
รูปที่ 2.10	การตีความหมายกฎ	18
รูปที่ 2.11	การรวมกฎเข้าด้วยกัน	18
รูปที่ 2.12	โครงสร้างของตัวควบคุมฟัซซีชนิดที่มีการปรับตัวทางอ้อม	20
รูปที่ 2.13	โครงสร้างของตัวควบคุมฟัซซีชนิดที่มีการปรับตัวทางตรง	22
รูปที่ 2.14	โครงสร้างของ ANFIS ที่สมมูลกับระบบฟัซซีตัวอย่าง	25
รูปที่ 2.15	ตัวอย่างฟังก์ชันมูลฐานฟัซซี	29
รูปที่ 3.1	แสดงลักษณะของระบบการตั้งก้านที่อยู่บนรถ(Inverted pendulum)	35
รูปที่ 3.2	แสดงมุมของก้านและตำแหน่งรถเมื่อมุมของก้านเริ่มต้นไม่เท่ากับศูนย์	37
รูปที่ 3.3	แสดงแผนผังการใช้ตัวชดเชยชนิดล้าหน้าควบคุมเพนคูลัมผกผัน	40
รูปที่ 3.4	แสดงผลตอบของระบบเมื่อมีตัวชดเชยชนิดล้าหน้า	43
รูปที่ 3.5(a)	แสดงมุมของก้านและตำแหน่งรถของระบบจำลองที่เป็นเชิงเส้น โดยมีค่ามุมเริ่มต้นของก้านเท่ากับ 0.1 เรเดียน	44
รูปที่ 3.5(b)	แสดงมุมของก้านและตำแหน่งรถของระบบจำลองที่เป็นเชิงเส้น โดยมีค่ามุมเริ่มต้นของก้านเท่ากับ 0.2 เรเดียน	44
รูปที่ 3.5(c)	แสดงมุมของก้านและตำแหน่งรถของระบบจำลองที่ไม่เป็นเชิงเส้น โดยมีค่ามุมเริ่มต้นของก้านเท่ากับ 0.1 เรเดียน	44
รูปที่ 3.5(d)	แสดงมุมของก้านและตำแหน่งรถของระบบจำลองที่ไม่เป็นเชิงเส้น โดยมีค่ามุมเริ่มต้นของก้านเท่ากับ 0.2 เรเดียน	44

สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.10(d) แสดงผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดชนิดสี่แบบเกาส์รวมทั้งมี สัญญาณรบกวนเนื่องจากลมพัดก้านชนิดขาวแบบเกาส์ โดยมีค่าความแปรปรวนเท่ากับ $0.5 N^2$	49
รูปที่ 3.11(a) แสดงผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดชนิดสี่แบบเกาส์รวมทั้งมี สัญญาณรบกวนเนื่องจากพื้นขรุขระชนิดขาวแบบเกาส์ โดยมีค่าความแปรปรวนเท่ากับ $0.1 N^2$	50
รูปที่ 3.11(b) แสดงผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดชนิดสี่แบบเกาส์รวมทั้งมี สัญญาณรบกวนเนื่องจากพื้นขรุขระชนิดขาวแบบเกาส์ โดยมีค่าความแปรปรวนเท่ากับ $0.5 N^2$	50
รูปที่ 3.11(c) แสดงผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดชนิดสี่แบบเกาส์รวมทั้งมี สัญญาณรบกวนเนื่องจากพื้นขรุขระชนิดขาวแบบเกาส์ โดยมีค่าความแปรปรวนเท่ากับ $1 N^2$	50
รูปที่ 3.11(d) แสดงผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดชนิดสี่แบบเกาส์รวมทั้งมี สัญญาณรบกวนเนื่องจากพื้นขรุขระชนิดขาวแบบเกาส์ โดยมีค่าความแปรปรวนเท่ากับ $1.5 N^2$	50
รูปที่ 3.12 แผนภาพแสดง โครงสร้างของตัวกรองกาลมาน	51
รูปที่ 3.13(a) แสดงมุมของก้านและตำแหน่งรถเมื่อใช้ตัวกรองกาลมานในการลดผลของ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดรวมทั้งมีสัญญาณรบกวนเนื่องจากลมพัดก้าน ชนิดขาวแบบเกาส์ โดยมีค่าความแปรปรวนเท่ากับ $0.1 N^2$	53
รูปที่ 3.13(b) แสดงมุมของก้านและตำแหน่งรถเมื่อใช้ตัวกรองกาลมานในการลดผลของ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดรวมทั้งมีสัญญาณรบกวนเนื่องจากลมพัดก้าน ชนิดขาวแบบเกาส์ โดยมีค่าความแปรปรวนเท่ากับ $0.2 N^2$	53
รูปที่ 3.13(c) แสดงมุมของก้านและตำแหน่งรถเมื่อใช้ตัวกรองกาลมานในการลดผลของ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดรวมทั้งมีสัญญาณรบกวนเนื่องจากลมพัดก้าน ชนิดขาวแบบเกาส์ โดยมีค่าความแปรปรวนเท่ากับ $0.4 N^2$	53

สารบัญญภาพ (ต่อ)

หน้า

<p>รูปที่ 3.15(c) แสดงมุมของก้านและตำแหน่งรถเมื่อใช้ตัวกรองกาลมานในการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดรวมทั้งมีสัญญาณรบกวนเนื่องจากพื้นขรุขระ ชนิดขาวแบบเกาส์ โดยมีค่าความแปรปรวนเท่ากับ $1.0 N^2$.....</p>	55
<p>รูปที่ 3.15(d) แสดงมุมของก้านและตำแหน่งรถเมื่อใช้ตัวกรองกาลมานในการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดรวมทั้งมีสัญญาณรบกวนเนื่องจากพื้นขรุขระ ชนิดขาวแบบเกาส์ โดยมีค่าความแปรปรวนเท่ากับ $1.5 N^2$.....</p>	55
<p>รูปที่ 3.16(a) แสดงมุมของก้านและตำแหน่งรถเมื่อใช้ตัวกรองกาลมาน(ออกแบบที่ความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ $0.5 N^2$)ในการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดรวมทั้งมีสัญญาณรบกวนเนื่องจากพื้นขรุขระ ชนิดขาวแบบเกาส์ โดยมีค่าความแปรปรวนเท่ากับ $0.1 N^2$.....</p>	56
<p>รูปที่ 3.16(b) แสดงมุมของก้านและตำแหน่งรถเมื่อใช้ตัวกรองกาลมาน(ออกแบบที่ความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ $0.5 N^2$)ในการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดรวมทั้งมีสัญญาณรบกวนเนื่องจากพื้นขรุขระ ชนิดขาวแบบเกาส์ โดยมีค่าความแปรปรวนเท่ากับ $0.5 N^2$.....</p>	56
<p>รูปที่ 3.16(c) แสดงมุมของก้านและตำแหน่งรถเมื่อใช้ตัวกรองกาลมาน(ออกแบบที่ความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ $0.5 N^2$)ในการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดรวมทั้งมีสัญญาณรบกวนเนื่องจากพื้นขรุขระ ชนิดขาวแบบเกาส์ โดยมีค่าความแปรปรวนเท่ากับ $1.0 N^2$.....</p>	56
<p>รูปที่ 3.16(d) แสดงมุมของก้านและตำแหน่งรถเมื่อใช้ตัวกรองกาลมาน(ออกแบบที่ความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ $0.5 N^2$)ในการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดรวมทั้งมีสัญญาณรบกวนเนื่องจากพื้นขรุขระ ชนิดขาวแบบเกาส์ โดยมีค่าความแปรปรวนเท่ากับ $1.5 N^2$.....</p>	56
<p>รูปที่ 3.17(a) แสดงมุมของก้านและตำแหน่งรถเมื่อใช้ตัวกรองกาลมานในการลดผลของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดชนิดขาวแบบเกาส์รวมทั้งมีสัญญาณรบกวนเนื่องจากลมพัดก้านชนิดสี่เหลี่ยมแบบเกาส์ โดยมีค่าความแปรปรวนเท่ากับ $0.1 N^2$.....</p>	58

สารบัญญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.23(b)	แสดงมุมของก้านและตำแหน่งรถเมื่อใช้ตัวกรองกาลมานในการลดผลของความ ผิดพลาดเนื่องจากการวัดชนิดสี่แบบเกาส์รวมทั้งมีสัญญาณรบกวนเนื่องจาก พื้นขรุขระชนิดขาวแบบเกาส์ โดยที่ค่าความแปรปรวนเท่ากับ $0.5 N^2$	65
รูปที่ 3.23(c)	แสดงมุมของก้านและตำแหน่งรถเมื่อใช้ตัวกรองกาลมานในการลดผลของความ ผิดพลาดเนื่องจากการวัดชนิดสี่แบบเกาส์รวมทั้งมีสัญญาณรบกวนเนื่องจาก พื้นขรุขระชนิดขาวแบบเกาส์ โดยที่ค่าความแปรปรวนเท่ากับ $1.0 N^2$	65
รูปที่ 3.23(d)	แสดงมุมของก้านและตำแหน่งรถเมื่อใช้ตัวกรองกาลมานในการลดผลของความ ผิดพลาดเนื่องจากการวัดชนิดสี่แบบเกาส์รวมทั้งมีสัญญาณรบกวนเนื่องจาก พื้นขรุขระชนิดขาวแบบเกาส์ โดยที่ค่าความแปรปรวนเท่ากับ $1.5 N^2$	65
รูปที่ 3.24(a)	แสดงมุมของก้านและตำแหน่งรถเมื่อใช้ตัวกรองกาลมาน(ออกแบบที่ ค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ $0.5 N^2$)ในการลดผลของความ ผิดพลาดเนื่องจากการวัดชนิดสี่แบบเกาส์รวมทั้งมีสัญญาณรบกวนเนื่องจาก พื้นขรุขระชนิดขาวแบบเกาส์ โดยมีค่าความแปรปรวนเท่ากับ $0.1 N^2$	66
รูปที่ 3.24(b)	แสดงมุมของก้านและตำแหน่งรถเมื่อใช้ตัวกรองกาลมาน(ออกแบบที่ ค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ $0.5 N^2$)ในการลดผลของความ ผิดพลาดเนื่องจากการวัดชนิดสี่แบบเกาส์รวมทั้งมีสัญญาณรบกวนเนื่องจาก พื้นขรุขระชนิดขาวแบบเกาส์ โดยมีค่าความแปรปรวนเท่ากับ $0.5 N^2$	66
รูปที่ 3.24(c)	แสดงมุมของก้านและตำแหน่งรถเมื่อใช้ตัวกรองกาลมาน(ออกแบบที่ ค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ $0.5 N^2$)ในการลดผลของความ ผิดพลาดเนื่องจากการวัดชนิดสี่แบบเกาส์รวมทั้งมีสัญญาณรบกวนเนื่องจาก พื้นขรุขระชนิดขาวแบบเกาส์ โดยมีค่าความแปรปรวนเท่ากับ $1.0 N^2$	66
รูปที่ 3.24(d)	แสดงมุมของก้านและตำแหน่งรถเมื่อใช้ตัวกรองกาลมาน(ออกแบบที่ ค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ $0.5 N^2$)ในการลดผลของความ ผิดพลาดเนื่องจากการวัดชนิดสี่แบบเกาส์รวมทั้งมีสัญญาณรบกวนเนื่องจาก พื้นขรุขระชนิดขาวแบบเกาส์ โดยมีค่าความแปรปรวนเท่ากับ $1.5 N^2$	66
รูปที่ 4.1	แสดงแผนภาพกรอบของโครงสร้างการปรับตัวของตัวควบคุมพีชชี ชนิดที่มีการปรับตัว.....	74

สารบัญญภาพ (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 4.2	ฟังก์ชันภาวะสมาชิกเริ่มต้นของสัญญาณเข้า	75
รูปที่ 4.3	แสดงข่ายงานระบบประสาทที่เขียนขึ้นแทนระบบฟuzzyของตัวควบคุม	76
รูปที่ 4.4	แสดงค่าของครรชนี่สมรรณนะในแต่ละรอบการทำซ้ำ	78
รูปที่ 4.5	แสดงฟังก์ชันภาวะสมาชิกของตัวควบคุมฟuzzyหลังจากการเรียนรู้ โดยใช้ข่ายงานระบบประสาท	78
รูปที่ 4.6	แสดงมุมของก้านและตำแหน่งรลเมื่อใช้ตัวควบคุมฟuzzyชนิดที่มีการปรับตัว โดยใช้การเรียนรู้แบบข่ายงานระบบประสาท	79
รูปที่ 4.7	แสดงค่าของครรชนี่สมรรณนะในแต่ละรอบการทำซ้ำ	80
รูปที่ 4.8	แสดงฟังก์ชันภาวะสมาชิกของตัวควบคุมฟuzzyหลังจากการเรียนรู้ โดยใช้ข่ายงานระบบประสาท	81
รูปที่ 4.9	แสดงมุมของก้านและตำแหน่งรลเมื่อใช้ตัวควบคุมฟuzzyชนิดที่มีการปรับตัว โดยใช้การเรียนรู้แบบข่ายงานระบบประสาท	82
รูปที่ 4.10	การเปรียบเทียบมุมของก้านเมื่อใช้ตัวควบคุมฟuzzyชนิดที่มีการปรับตัวโดยใช้ การเรียนรู้แบบข่ายงานระบบประสาทและตัวชชชช	82
รูปที่ 4.11	การเปรียบเทียบตำแหน่งรลเมื่อใช้ตัวควบคุมฟuzzyชนิดที่มีการปรับตัวโดยใช้ การเรียนรู้แบบข่ายงานระบบประสาทและตัวชชชช	83
รูปที่ 4.12(a)	แสดงมุมของก้านและตำแหน่งรลเมื่อมีความคลาดเคลื่อนจากการวัดและการรบกวน เนื่องจากลมพัดก้านชนิดขาวแบบเกาส์ที่มีความแปรปรวนเท่ากับ $0.1 N^2$	82
รูปที่ 4.12(b)	แสดงมุมของก้านและตำแหน่งรลเมื่อมีความคลาดเคลื่อนจากการวัดและการรบกวน เนื่องจากลมพัดก้านชนิดขาวแบบเกาส์ที่มีความแปรปรวนเท่ากับ $0.2 N^2$	82
รูปที่ 4.12(c)	แสดงมุมของก้านและตำแหน่งรลเมื่อมีความคลาดเคลื่อนจากการวัดและการรบกวน เนื่องจากลมพัดก้านชนิดขาวแบบเกาส์ที่มีความแปรปรวนเท่ากับ $0.4 N^2$	82
รูปที่ 4.12(d)	แสดงมุมของก้านและตำแหน่งรลเมื่อมีความคลาดเคลื่อนจากการวัดและการรบกวน เนื่องจากลมพัดก้านชนิดขาวแบบเกาส์ที่มีความแปรปรวนเท่ากับ $0.5 N^2$	82
รูปที่ 4.13	แสดงการเปรียบเทียบมุมของก้านเมื่อมีสัญญาณรบกวนเนื่องจากลมพัดก้าน ชนิดขาวแบบเกาส์ที่มีค่าความแปรปรวนเท่ากับ $0.2 N^2$	83

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.27(a) แสดงมุมของก้านและตำแหน่งรถเมื่อมีความคลาดเคลื่อนจากการวัดชนิดสี่แบบเกาส์ และการรบกวนเนื่องจากพื้นขรุขระที่มีความแปรปรวนเท่ากับ 0.1 N^2	99
รูปที่ 4.27(b) แสดงมุมของก้านและตำแหน่งรถเมื่อมีความคลาดเคลื่อนจากการวัดชนิดสี่แบบเกาส์ และการรบกวนเนื่องจากพื้นขรุขระที่มีความแปรปรวนเท่ากับ 0.5 N^2	99
รูปที่ 4.27(c) แสดงมุมของก้านและตำแหน่งรถเมื่อมีความคลาดเคลื่อนจากการวัดชนิดสี่แบบเกาส์ และการรบกวนเนื่องจากพื้นขรุขระที่มีความแปรปรวนเท่ากับ 1.0 N^2	99
รูปที่ 4.27(d) แสดงมุมของก้านและตำแหน่งรถเมื่อมีความคลาดเคลื่อนจากการวัดชนิดสี่แบบเกาส์ และการรบกวนเนื่องจากพื้นขรุขระที่มีความแปรปรวนเท่ากับ 1.5 N^2	99
รูปที่ 4.28 แสดงการเปรียบเทียบมุมของก้านเมื่อมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดชนิดสี่แบบเกาส์และมีสัญญาณรบกวนเนื่องจากพื้นขรุขระ ชนิดขาวแบบเกาส์มีค่าความแปรปรวนเท่ากับ 0.5 N^2	99
รูปที่ 4.29 แสดงการเปรียบเทียบตำแหน่งรถเมื่อมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดชนิดสี่แบบเกาส์และมีสัญญาณรบกวนเนื่องจากพื้นขรุขระ ชนิดขาวแบบเกาส์มีค่าความแปรปรวนเท่ากับ 0.5 N^2	100