

การประมาณที่ตั้งแหล่งกำเนิดสัญญาณที่ทนต่อสัญญาณรบกวนจากการวัดมุมทิศ  
โดยใช้อัลกอริทึมแบบไอเอ็มเอ็ม



ร้อยเอก พชรพล สินธุวงศานนท์

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-333-499-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

๕ 192๘๗๐๘๗

12 พ.ย. 2546

ROBUST EMITTER LOCALIZATION ESTIMATION FROM BEARING ANGLE MEASUREMENTS  
BY THE INTERACTING MULTIPLE MODEL ALGORITHM

Captain Pasharapol Sintuwongsanondh

สถาบันวิทยบริการ

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

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 1999

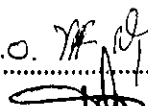
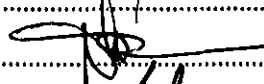
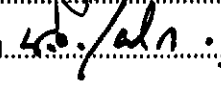
ISBN 974-333-499-8



พรพล ลินธุวงศานนท์, ร.อ. : การประมาณที่ตั้งแหล่งกำเนิดสัญญาณที่ทนต่อสัญญาณรบกวนจากการวัดมุมทิศ โดยใช้อัลกอริทึมแบบไอเอ็มเอ็ม (ROBUST EMITTER LOCALIZATION ESTIMATION FROM BEARING ANGLE MEASUREMENTS BY THE INTERACTING MULTIPLE MODEL ALGORITHM) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล, อ.ที่ปรึกษาร่วม : น.อ.ดร.เพ็ชร โตท่าโรง

งานวิทยานิพนธ์นี้ นำเสนอการประมาณที่ตั้งแหล่งกำเนิดสัญญาณจากการวัดมุมทิศ เมื่อใช้เครื่องดักรับหาทิศแบบเคลื่อนที่และแบบอยู่กับที่ โดยใช้อัลกอริทึมแบบไอเอ็มเอ็ม ในกรณีที่ในระบบมีทั้งสัญญาณรบกวนที่เป็นแบบเกาส์และไม่เป็นแบบเกาส์ ประปนเข้ามากับมุมทิศที่ได้จากการวัด โดยหลักการทำงานของอัลกอริทึมแบบไอเอ็มเอ็ม ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลักคือ การผสมหรือกำหนดค่าอินพุตเริ่มต้น, การผ่านวงจรกรอง, การปรับค่าความน่าจะเป็น และการรวมค่าเอาต์พุต โดยการทดสอบ จะใช้การจำลองแบบบนเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพเรื่องความแม่นยำและความทนทานของวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการเดิม จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมแบบไอเอ็มเอ็มเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพและทนต่อสัญญาณรบกวนได้เป็นอย่างดี เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้วงจรกรองคาลมานแบบยืดขยาย ในกรณีที่ระบบมีรูปแบบของการแจกแจงของสัญญาณรบกวนที่ไม่เป็นแบบเกาส์

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่อนิสิต.....S.O.   
สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
ปีการศึกษา.....2542.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

397 11062 21 : MAJOR DIGITAL SIGNAL PROCESSING

KEYWORD: THE INTERACTING MULTIPLE MODEL (IMM) / EXTENDED KALMAN FILTER (EKF) / BEARING ANGLE MEASUREMENTS / DIRECTION FINDING

PASHARAPOL SINTUWONGSANONDH, CAPT. : ROBUST EMITTER LOCALIZATION ESTIMATION FROM BEARING ANGLE MEASUREMENTS BY THE INTERACTING MULTIPLE MODEL ALGORITHM. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. Dr. SOMCHAI JITAPUNKUL, Dr.Eng. THESIS COADVISOR : Group Capt. PIAN TOTARONG, Ph.D. 219 pp. ISBN 974-333-499-8

This thesis proposes an emitter localization estimation from bearing angle measurements of moving observers and passive multiple fixed observers using the Interacting Multiple Model (IMM) algorithm, the measurement model of which contains both gaussian noise and non-gaussian noise. It is shown by simulation results that the IMM which consists of four major steps: Interacting, Filtering, Mode Probability update and Output Generation, is a very effective approach and performs more robustly when compared to the Extended Kalman Filter (EKF) in case of non-gaussian noise distribution model.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า..... ลายมือชื่อนิสิต..... CAPT. Pasharapol Sintuwongsanondh  
สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... Somchai Jitapunkul  
ปีการศึกษา.....2542..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษารวม..... Pian Totarong

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ เนื่องด้วยผู้วิจัยได้รับคำแนะนำและการช่วยเหลือเป็นอย่างดี ตั้งแต่ตอนเสนอโครงร่างวิทยานิพนธ์ จาก รศ.ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ น.อ.ดร.เพียร โตท่าโรง ผู้อำนวยการกองวิจัยและพัฒนาการสื่อสารอิเล็กทรอนิกส์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการทางทหาร อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านทั้งสองได้ให้คำแนะนำความรู้ทางวิชาการ และคำปรึกษารวมทั้งแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ตลอดจนข้อคิดเห็นต่างๆในการวิจัยมาโดยตลอด ซึ่งนอกจากนี้ ผู้วิจัยยังได้รับความกรุณาจาก พ.ต.สุรเดช เคารพครู และ ร.อ.นพรัตน์ แสงหนุ่ม ประจำโรงเรียนทหารสื่อสาร ตลอดจนผู้บังคับบัญชาทุกท่านที่เกี่ยวข้องที่มีได้เอื้อนวม ซึ่งท่านทั้งหลายเหล่านี้ ได้ให้คำแนะนำและช่วยเหลือในเรื่องของข้อมูลต่างๆ อันทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ซึ่งท่านทั้งสองเป็นผู้ให้ความช่วยเหลือสนับสนุนในเรื่องต่างๆ ตลอดจนเป็นกำลังใจเสมอมา อันเป็นเหตุวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงด้วยดี



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ค
สารบัญภาพ.....	ด
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 วิธีการดำเนินการค้นคว้าและวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 วิธีการประมาณที่ตั้งแหล่งกำเนิดสัญญาณจากการวัดมุมทิศ.....	5
2.1.1 การใช้เครื่องวัดทิศทางแบบเคลื่อนที่.....	5
2.1.1.1 วงจรกรองแบบเอ็นแอลเอส.....	6
2.1.1.2 วงจรกรองคาลมานแบบยืดขยาย.....	6
2.1.2 การใช้เครื่องวัดทิศทางแบบอยู่กับที่.....	6
2.1.2.1 ประมาณค่ามุมทิศก่อนการประมาณพิกัด.....	8
2.1.2.2 ประมาณค่าพิกัดจากค่าพิกัดที่วัดได้.....	8
2.1.2.3 วงจรกรองคาลมานแบบยืดขยาย.....	8
2.2 ลักษณะของสัญญาณรบกวนที่ไม่เป็นแบบเกาส์และที่เป็นแบบเกาส์แต่ค่ากำลังต่างกัน.....	9
2.2.1 สัญญาณรบกวนที่ไม่เป็นแบบเกาส์.....	9
2.2.1.1 การถ่วงด้วยสัญญาณรบกวน.....	12
2.2.2 ค่ากำลังของสัญญาณรบกวน.....	13

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.3 การแก้ปัญหาเมื่อสัญญาณรบกวนไม่เป็นแบบเกาส์และอัลกอริทึมที่ใช้.....	14
2.3.1 วิธี Leaving One Out.....	14
2.3.2 อัลกอริทึมแบบไอเอ็มเอ็ม.....	15
2.3.2.1 การประยุกต์อัลกอริทึมแบบไอเอ็มเอ็มในการแก้ปัญหา.....	15
2.3.2.2 หลักการทำงานของไอเอ็มเอ็ม.....	16
2.3.3 วงจรกรองกาลมาน.....	21
2.3.4 วงจรกรองกาลมานแบบยืดขยาย.....	21
2.3.5 อัลกอริทึมแบบทอริรี.....	24
2.4 วิธีการที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์.....	29
2.4.1 กรณีที่ใช้เครื่องตรวจจับหาทิศแบบเคลื่อนที่.....	29
2.4.1.1 การใช้อัลกอริทึมแบบไอเอ็มเอ็มที่ใช้วงจรกรองกาลมานแบบยืดขยายภายใน.....	29
2.4.2 กรณีที่ใช้เครื่องตรวจจับหาทิศแบบอยู่กับที่.....	30
2.4.2.1 การใช้อัลกอริทึมแบบไอเอ็มเอ็มที่ใช้วงจรกรองกาลมานแบบยืดขยายภายใน.....	30
2.4.2.2 การใช้อัลกอริทึมแบบไอเอ็มเอ็มที่ใช้วงจรกรองกาลมานภายในในการประมาณมุมทิศ ร่วมกับการใช้อัลกอริทึมแบบทอริรีประมาณพิกัด.....	31
3. การจำลองแบบบนเครื่องคอมพิวเตอร์และผลการทดสอบ.....	32
3.1 แหล่งที่มาของข้อมูล.....	32
3.1.1 กรณีที่ใช้เครื่องตรวจจับหาทิศแบบเคลื่อนที่.....	32
3.1.1.1 ค่าอินพุตที่เป็นมุมทิศ.....	32
3.1.1.2 ค่าของสัญญาณรบกวนที่ปนเข้ามากับมุมทิศ.....	33
3.1.2 กรณีที่ใช้เครื่องตรวจจับหาทิศแบบอยู่กับที่.....	33
3.1.2.1 ค่าอินพุตที่เป็นมุมทิศ.....	33
3.1.2.2 ค่าของสัญญาณรบกวนที่ปนเข้ามากับมุมทิศ.....	34
3.2 การสร้างแบบจำลองบนคอมพิวเตอร์และกรณีที่ใช้ทดสอบ.....	34
3.2.1 กรณีที่ใช้เครื่องตรวจจับหาทิศแบบเคลื่อนที่.....	34
3.2.2 กรณีที่ใช้เครื่องตรวจจับหาทิศแบบอยู่กับที่.....	35



สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.3 ค่าที่นำไปใช้ในการจำลองแบบและรูปแบบของการแสดงผลการทดสอบ.....	38
3.3.1 ค่าที่นำไปใช้ในการจำลองแบบ.....	38
3.3.1.1 กรณีที่ใช้เครื่องดักจับหาทิศแบบเคลื่อนที่.....	38
3.3.1.2 กรณีที่ใช้เครื่องดักจับหาทิศแบบอยู่กับที่.....	38
3.3.2 รูปแบบของการแสดงผลที่ได้จากการทดสอบ.....	39
3.4 รูปแบบการทดสอบในการจำลองแบบบนคอมพิวเตอร์.....	40
3.4.1 กรณีที่ใช้เครื่องดักจับหาทิศแบบเคลื่อนที่.....	40
3.4.1.1 อัลกอริทึมที่นำมาจำลองบนคอมพิวเตอร์.....	40
3.4.1.2 ปัญหาที่นำมาพิจารณา.....	40
3.4.1.3 การทดสอบความทนทานของอัลกอริทึมภายในระบบ.....	41
3.4.2 กรณีที่ใช้เครื่องดักจับหาทิศแบบอยู่กับที่.....	44
3.4.2.1 อัลกอริทึมที่นำมาจำลองบนคอมพิวเตอร์.....	44
3.4.2.2 ปัญหาที่นำมาพิจารณา.....	44
3.4.2.3 การทดสอบความทนทานของอัลกอริทึมภายในระบบ.....	45
3.5 การกำหนดค่าเริ่มต้น.....	47
3.5.1 กรณีที่ใช้เครื่องดักจับหาทิศแบบเคลื่อนที่.....	47
3.5.2 กรณีที่ใช้เครื่องดักจับหาทิศแบบอยู่กับที่.....	49
3.6 ผลการทดสอบที่ได้จากการจำลองแบบ.....	49
3.6.1 ผลการทดสอบในรูปแบบ Mean Square Errors.....	49
3.6.1.1 กรณีที่ใช้เครื่องดักจับหาทิศแบบเคลื่อนที่.....	49
- กราฟและตารางแสดงผลของแต่ละอัลกอริทึม	
เมื่อมี Laplacian Noise เข้ามา 10% จากการวัด 10 ครั้ง.....	51
- กราฟและตารางแสดงผลของแต่ละอัลกอริทึม	
เมื่อมี Laplacian Noise เข้ามา 40% จากการวัด 10 ครั้ง.....	53
- กราฟและตารางแสดงผลของแต่ละอัลกอริทึม	
เมื่อมี Laplacian Noise เข้ามา 80% จากการวัด 10 ครั้ง.....	55

สารบัญ (ต่อ)

บทที่

หน้า

- ผลการทดสอบในรูปกราฟและตารางของกลุ่มปัญหาที่ 1 เมื่อค่า SNR ตั้งแต่ 10-19 dB (มี Laplacian Noise 10%-80% จากการวัด 10 ครั้ง).....57
- ผลการทดสอบในรูปกราฟและตารางของกลุ่มปัญหาที่ 2 เมื่อค่า SNR ตั้งแต่ 10-19 dB (มี Laplacian Noise 10%-80% จากการวัด 10 ครั้ง).....59
- ผลการทดสอบในรูปกราฟและตารางของกลุ่มปัญหาที่ 3 ค่ากำลังของ Gaussian Noise แตกต่างกัน เมื่อทำการวัด 10 ครั้ง.....61
- ผลการทดสอบโดยรวม ในรูป MSE กรณีที่ใช้เครื่องดักรับทางทิศแบบเคลื่อนที่.....63
- 3.6.1.2 กรณีที่ใช้เครื่องดักรับทางทิศแบบอยู่กับที่.....65
  - กราฟและตารางแสดงผลของแต่ละอัลกอริทึม เมื่อมี Laplacian Noise เข้ามา 5% จากการวัด 40 ครั้ง.....66
  - กราฟและตารางแสดงผลของแต่ละอัลกอริทึม เมื่อมี Laplacian Noise เข้ามา 50% จากการวัด 40 ครั้ง.....68
  - กราฟและตารางแสดงผลของแต่ละอัลกอริทึม เมื่อมี Laplacian Noise เข้ามา 90% จากการวัด 40 ครั้ง.....70
  - ผลการทดสอบในรูปกราฟและตารางของกรณีที่ 1 กลุ่มปัญหาที่ 1 เมื่อค่า SNR ตั้งแต่ 8-22 dB (มี Laplacian Noise 5%-90% จากการวัด 40 ครั้ง).....73
  - ผลการทดสอบในรูปกราฟและตารางของกรณีที่ 2 กลุ่มปัญหาที่ 1 เมื่อค่า SNR ตั้งแต่ 8-22 dB (มี Laplacian Noise 5%-90% จากการวัด 40 ครั้ง).....77
  - ผลการทดสอบในรูปกราฟและตารางของกรณีที่ 3 กลุ่มปัญหาที่ 1 เมื่อค่า SNR ตั้งแต่ 8-22 dB (มี Laplacian Noise 5%-90% จากการวัด 40 ครั้ง).....81
  - ผลการทดสอบในรูปกราฟและตารางของกรณีที่ 4 กลุ่มปัญหาที่ 1 เมื่อค่า SNR ตั้งแต่ 8-22 dB (มี Laplacian Noise 5%-90% จากการวัด 40 ครั้ง).....85
  - ผลการทดสอบในรูปกราฟและตารางของกรณีที่ 5 กลุ่มปัญหาที่ 1 เมื่อค่า SNR ตั้งแต่ 8-22 dB (มี Laplacian Noise 5%-90% จากการวัด 40 ครั้ง).....89
  - ผลการทดสอบในรูปกราฟและตารางของกรณีที่ 6 กลุ่มปัญหาที่ 1 เมื่อค่า SNR ตั้งแต่ 8-22 dB (มี Laplacian Noise 5%-90% จากการวัด 40 ครั้ง).....93

สารบัญ (ต่อ)

บทที่

หน้า

- ผลการทดสอบในรูปกราฟและตารางของกรณีที่ 1 กลุ่มปัญหาที่ 2 เมื่อค่า SNR ตั้งแต่ 8-22 dB (มี Uniform Noise 5%-90% จากการวัด 40 ครั้ง).....97
- ผลการทดสอบในรูปกราฟและตารางของกรณีที่ 2 กลุ่มปัญหาที่ 2 เมื่อค่า SNR ตั้งแต่ 8-22 dB (มี Uniform Noise 5%-90% จากการวัด 40 ครั้ง).....101
- ผลการทดสอบในรูปกราฟและตารางของกรณีที่ 3 กลุ่มปัญหาที่ 2 เมื่อค่า SNR ตั้งแต่ 8-22 dB (มี Uniform Noise 5%-90% จากการวัด 40 ครั้ง).....105
- ผลการทดสอบในรูปกราฟและตารางของกรณีที่ 4 กลุ่มปัญหาที่ 2 เมื่อค่า SNR ตั้งแต่ 8-22 dB (มี Uniform Noise 5%-90% จากการวัด 40 ครั้ง).....109
- ผลการทดสอบในรูปกราฟและตารางของกรณีที่ 5 กลุ่มปัญหาที่ 2 เมื่อค่า SNR ตั้งแต่ 8-22 dB (มี Uniform Noise 5%-90% จากการวัด 40 ครั้ง).....113
- ผลการทดสอบในรูปกราฟและตารางของกรณีที่ 6 กลุ่มปัญหาที่ 2 เมื่อค่า SNR ตั้งแต่ 8-22 dB (มี Uniform Noise 5%-90% จากการวัด 40 ครั้ง).....117
- ผลการทดสอบในรูปกราฟและตารางของกรณีที่ 1 กลุ่มปัญหาที่ 3 (ค่ากำลังของ Gaussian Noise ต่างกัน จากการวัด 40 ครั้ง).....121
- ผลการทดสอบในรูปกราฟและตารางของกรณีที่ 2 กลุ่มปัญหาที่ 3 (ค่ากำลังของ Gaussian Noise ต่างกัน จากการวัด 40 ครั้ง).....125
- ผลการทดสอบในรูปกราฟและตารางของกรณีที่ 3 กลุ่มปัญหาที่ 3 (ค่ากำลังของ Gaussian Noise ต่างกัน จากการวัด 40 ครั้ง).....129
- ผลการทดสอบในรูปกราฟและตารางของกรณีที่ 4 กลุ่มปัญหาที่ 3 (ค่ากำลังของ Gaussian Noise ต่างกัน จากการวัด 40 ครั้ง).....133
- ผลการทดสอบในรูปกราฟและตารางของกรณีที่ 5 กลุ่มปัญหาที่ 3 (ค่ากำลังของ Gaussian Noise ต่างกัน จากการวัด 40 ครั้ง).....137
- ผลการทดสอบในรูปกราฟและตารางของกรณีที่ 6 กลุ่มปัญหาที่ 3 (ค่ากำลังของ Gaussian Noise ต่างกัน จากการวัด 40 ครั้ง).....141
- ผลการทดสอบโดยรวม ในรูป MSE กรณีที่ใช้เครื่องตรวจจับแบบอยู่กับที่.....145
- 3.6.2 ผลการทดสอบในรูป Circular Error Probability.....153
  - 3.6.2.1 กรณีที่ใช้เครื่องตรวจจับแบบเคลื่อนที่.....153

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่

หน้า

- ผลการทดสอบในรูปกราฟ CEP 50% ของ EKF เมื่อมี Laplacian Noise ตั้งแต่ 10%-80%.....	154
- ผลการทดสอบในรูปกราฟ CEP 50% ของ MEKF เมื่อมี Laplacian Noise ตั้งแต่ 10%-80%.....	156
- ผลการทดสอบในรูปกราฟ CEP 50% ของ Leaving out+EKF เมื่อมี Laplacian Noise ตั้งแต่ 10%-80%.....	158
- ผลการทดสอบในรูปกราฟ CEP 50% ของ IMM(EKF) เมื่อมี Laplacian Noise ตั้งแต่ 10%-80%.....	160
- กราฟสรุปผลการทดสอบในรูป CEP 50% ของแต่ละอัลกอริทึม เมื่อมี Laplacian Noise ตั้งแต่ 10%-80%.....	162
- ผลการทดสอบโดยรวม ในรูป CEP 50% ของแต่ละอัลกอริทึม เมื่อมี Laplacian Noise ตั้งแต่ 10%-80%.....	163
3.6.2.2 กรณีที่ใช้เครื่องตรวจจับทิศทางแบบอยู่กับที่.....	164
- ผลการทดสอบในรูปกราฟ CEP 50% ของ EKF ในกรณีที่ 3 เมื่อมี Laplacian Noise ตั้งแต่ 5%-90%.....	165
- ผลการทดสอบในรูปกราฟ CEP 50% ของ MEKF ในกรณีที่ 3 เมื่อมี Laplacian Noise ตั้งแต่ 5%-90%.....	170
- ผลการทดสอบในรูปกราฟ CEP 50% ของ Leaving out+EKF ในกรณีที่ 3 เมื่อมี Laplacian Noise ตั้งแต่ 5%-90%.....	175
- ผลการทดสอบในรูปกราฟ CEP 50% ของ IMM(KF)+TR ในกรณีที่ 3 เมื่อมี Laplacian Noise ตั้งแต่ 5%-90%.....	180
- ผลการทดสอบในรูปกราฟ CEP 50% ของ IMM(EKF) ในกรณีที่ 3 เมื่อมี Laplacian Noise ตั้งแต่ 5%-90%.....	185
- กราฟสรุปผลการทดสอบในรูป CEP 50% ของแต่ละอัลกอริทึม ในกรณีที่ 3 เมื่อค่า SNR ตั้งแต่ 9-22 dB .....	190

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
- ผลการทดสอบโดยรวม ในรูป CEP 50% ของแต่ละอัลกอริทึม กรณีที่ 3 เมื่อมี Laplacian Noise ตั้งแต่ 5%-90%.....	191
3.6.3 พิจารณาผลการทดสอบโดยรวม.....	192
3.6.3.1 กรณีที่ใช้เครื่องดักรับทางทิศแบบเคลื่อนที่.....	192
3.6.3.2 กรณีที่ใช้เครื่องดักรับทางทิศแบบอยู่กับที่.....	195
4. ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ.....	199
4.1 ข้อสรุป.....	199
4.1.1 กรณีที่ใช้เครื่องดักรับทางทิศแบบเคลื่อนที่.....	200
4.1.2 กรณีที่ใช้เครื่องดักรับทางทิศแบบอยู่กับที่.....	201
4.2 ข้อเสนอแนะ.....	203
รายการอ้างอิง.....	204
ภาคผนวก โปรแกรมจำลองบนเครื่องคอมพิวเตอร์.....	205
ก การประมาณที่ตั้งแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยอัลกอริทึมแบบไอเอ็มเอ็ม.....	206
ข วงจรกรองกาลมานแบบยึดขยาย.....	211
ค สัญญาณรบกวนที่ไม่เป็นแบบเกาส์.....	213
ง การหา Initial Position Uncertainty.....	215
ประวัติผู้เขียน.....	216

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1	ค่าที่นำไปใช้ในการจำลองบนคอมพิวเตอร์สำหรับเครื่องตรวจจับทิศทางแบบเคลื่อนที่.....38
3.2	ค่าที่นำไปใช้ในการจำลองบนคอมพิวเตอร์สำหรับเครื่องตรวจจับทิศทางแบบอยู่กับที่.....38
3.3	ค่า $SNR_{dB}$ เมื่อปริมาณสัญญาณรบกวนที่ไม่เป็นแบบเกาส์ ตั้งแต่ 10%-80%.....42
3.4	ค่า $SNR_{dB}$ เมื่อปริมาณสัญญาณรบกวนที่ไม่เป็นแบบเกาส์ ตั้งแต่ 5%-90%.....45
3.5	ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE บนแกน X เมื่อมี Laplacian Noise เข้ามา 10% จากการวัด 10 ครั้ง .....52
3.6	ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE บนแกน X เมื่อมี Laplacian Noise เข้ามา 40% จากการวัด 10 ครั้ง .....54
3.7	ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE บนแกน X เมื่อมี Laplacian Noise เข้ามา 80% จากการวัด 10 ครั้ง .....56
3.8	ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของกลุ่มปัญหาที่ 1 บนแกน X.....57
3.9	ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของกลุ่มปัญหาที่ 1 บนแกน Y.....58
3.10	ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของกลุ่มปัญหาที่ 2 บนแกน X.....59
3.11	ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของกลุ่มปัญหาที่ 2 บนแกน Y.....60
3.12	ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของกลุ่มปัญหาที่ 3 บนแกน X.....61
3.13	ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของกลุ่มปัญหาที่ 3 บนแกน Y.....62
3.14	ผลการทดสอบ เมื่อเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์(%) ที่ค่ามาตรฐาน 0.05 km กรณีที่ใช้เครื่องตรวจจับทิศทางแบบเคลื่อนที่ ของทุกอัลกอริทึมและทุกกลุ่มของปัญหา.....63
3.15	ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE บนแกน X เมื่อมี Laplacian Noise เข้ามา 5% จากการวัด 40 ครั้ง.....67
3.16	ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE บนแกน X เมื่อมี Laplacian Noise เข้ามา 50% จากการวัด 40 ครั้ง.....69
3.17	ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE บนแกน X เมื่อมี Laplacian Noise เข้ามา 90% จากการวัด 40 ครั้ง.....71
3.18	ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของกรณีที่ 1 กลุ่มปัญหาที่ 1 บนแกน X.....74
3.19	ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของกรณีที่ 1 กลุ่มปัญหาที่ 1 บนแกน Y.....76
3.20	ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของกรณีที่ 2 กลุ่มปัญหาที่ 1 บนแกน X.....78
3.21	ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของกรณีที่ 2 กลุ่มปัญหาที่ 1 บนแกน Y.....80



สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3.50 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของกรณีที่ 5 กลุ่มปัญหาที่ 3 บนแกน X.....	138
3.51 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของกรณีที่ 5 กลุ่มปัญหาที่ 3 บนแกน Y.....	140
3.52 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของกรณีที่ 6 กลุ่มปัญหาที่ 3 บนแกน X.....	142
3.53 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของกรณีที่ 6 กลุ่มปัญหาที่ 3 บนแกน Y.....	144
3.54 ผลการทดสอบ เมื่อเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์(%) ที่ค่ามาตรฐาน 0.05 km กรณีที่ใช้เครื่องดักรับทางทิศแบบอยู่กับที่ ของทุกอัลกอริทึมและทุกกลุ่มของปัญหา.....	145
3.55 สรุปค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของแต่ละอัลกอริทึม เมื่อมี Laplacian Noise เข้ามา 10%-80%.....	162
3.56 สรุปค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของแต่ละอัลกอริทึม เมื่อมี Laplacian Noise เข้ามา 5%-90%.....	190
4.1 โครงสร้างงานวิจัยโดยรวม.....	200
4.2 ลำดับความแม่นยำของทุกวิธี ในรูป MSE เมื่อใช้เครื่องดักรับทางทิศแบบเคลื่อนที่.....	200
4.3 ลำดับความแม่นยำของทุกวิธี ในกลุ่มปัญหาที่ 1 ในรูป CEP 50% เมื่อใช้เครื่องดักรับทางทิศแบบเคลื่อนที่.....	201
4.4 ลำดับความแม่นยำของทุกวิธี ในกลุ่มปัญหาที่ 1 ในรูป MSE เมื่อใช้เครื่องดักรับทางทิศแบบอยู่กับที่.....	201
4.5 ลำดับความแม่นยำของทุกวิธี ในกลุ่มปัญหาที่2 ในรูป MSE เมื่อใช้เครื่องดักรับทางทิศแบบอยู่กับที่.....	201
4.6 ลำดับความแม่นยำของทุกวิธี ในกลุ่มปัญหาที่3 ในรูป MSE เมื่อใช้เครื่องดักรับทางทิศแบบอยู่กับที่.....	202
4.6 ลำดับความแม่นยำของทุกวิธี ในกรณีที่ 3 กลุ่มปัญหาที่ 1 ในรูป CEP 50% เมื่อใช้เครื่องดักรับทางทิศแบบอยู่กับที่.....	202



## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 การวัดมุมทิศเมื่อใช้เครื่องดักรับทิศทางแบบเคลื่อนที่.....	5
2.2 การวัดมุมทิศเมื่อใช้เครื่องดักรับทิศทางแบบอยู่กับที่.....	7
2.3 การแจกแจงแบบยูนิฟอร์ม.....	10
2.4 การแจกแจงแบบลาปลาซ.....	11
2.5 ขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมแบบไอเอ็มเอ็ม 4 ขั้นตอน เมื่อแบบจำลองของปัญหาเท่ากับ 2...20	20
2.6 วงจรกรองกาลมานแบบยืดขยาย.....	21
2.7 อัลกอริทึมแบบทอริรี.....	25
2.8 การใช้ IMM(EKF) เมื่อใช้เครื่องดักรับทิศทางแบบเคลื่อนที่.....	30
2.9 การใช้ IMM(EKF) เมื่อใช้เครื่องดักรับทิศทางแบบอยู่กับที่.....	30
2.10 การใช้ IMM(KF)+TR เมื่อใช้เครื่องดักรับทิศทางแบบอยู่กับที่.....	31
3.1 กรณีที่ใช้เปรียบเทียบ เมื่อใช้เครื่องดักรับทิศทางแบบเคลื่อนที่.....	35
3.2 กรณีที่ใช้เปรียบเทียบ เมื่อใช้เครื่องดักรับทิศทางแบบอยู่กับที่.....	37
3.3 รูปแบบการทดสอบ เมื่อพิจารณาสัญญาณรบกวนที่ไม่เป็นแบบเกาส์ กรณีที่ใช้เครื่องดักรับทิศทางแบบเคลื่อนที่.....	43
3.4 รูปแบบการทดสอบ เมื่อพิจารณาสัญญาณรบกวนที่เป็นแบบเกาส์ แต่ค่ากำลังแตกต่างกัน กรณีที่ใช้เครื่องดักรับทิศทางแบบเคลื่อนที่.....	44
3.5 รูปแบบการทดสอบ เมื่อพิจารณาสัญญาณรบกวนที่ไม่เป็นแบบเกาส์ กรณีที่ใช้เครื่องดักรับทิศทางแบบอยู่กับที่.....	46
3.6 รูปแบบการทดสอบ เมื่อพิจารณาสัญญาณรบกวนที่เป็นแบบเกาส์ แต่ค่ากำลังแตกต่างกัน กรณีที่ใช้เครื่องดักรับทิศทางแบบอยู่กับที่.....	47
3.7 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูป MSE บนแกน X.....	51
3.8 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Leaving out+EKF ในรูป MSE บนแกน X.....	51
3.9 ค่าความคลาดเคลื่อนของ IMM(EKF) ในรูป MSE บนแกน X.....	51
3.10 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูป MSE บนแกน X.....	53
3.11 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Leaving out+EKF ในรูป MSE บนแกน X.....	53
3.12 ค่าความคลาดเคลื่อนของ IMM(EKF) ในรูป MSE บนแกน X.....	53
3.13 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูป MSE บนแกน X.....	55

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.14 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Leaving out+EKF ในรูป MSE บนแกน X.....	55
3.15 ค่าความคลาดเคลื่อนของ IMM(EKF) ในรูป MSE บนแกน X .....	55
3.16 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูป MSE ของกลุ่มปัญหาที่ 1 บนแกนX.....	57
3.17 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Leaving out+EKF และ IMM(EKF) ในรูป MSE ของกลุ่มปัญหาที่ 1 บนแกน X.....	57
3.18 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูป MSE ของกลุ่มปัญหาที่ 1 บนแกน Y.....	58
3.19 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Leaving out+EKF และ IMM(EKF) ในรูป MSE ของกลุ่มปัญหาที่ 1 บนแกน Y.....	58
3.20 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูป MSE ของกลุ่มปัญหาที่ 2 บนแกน X.....	59
3.21 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Leaving out+EKF และ IMM(EKF) ในรูป MSE ของกลุ่มปัญหาที่ 2 บนแกน X.....	59
3.22 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูป MSE ของกลุ่มปัญหาที่ 2 บนแกน Y.....	60
3.23 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Leaving out+EKF และ IMM(EKF) ในรูป MSE ของกลุ่มปัญหาที่ 2 บนแกน Y.....	60
3.24 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูป MSE ของกลุ่มปัญหาที่ 3 บนแกน X.....	61
3.25 ค่าความคลาดเคลื่อนของ IMM(EKF) ในรูป MSE ของกลุ่มปัญหาที่ 3 บนแกน X.....	61
3.26 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูป MSE ของกลุ่มปัญหาที่ 3 บนแกน Y.....	62
3.27 ค่าความคลาดเคลื่อนของ IMM(EKF) ในรูป MSE ของกลุ่มปัญหาที่ 3 บนแกน Y.....	62
3.28 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูป MSE บนแกน X .....	66
3.29 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Leaving out+EKF ในรูป MSE บนแกน X.....	66
3.30 ค่าความคลาดเคลื่อนของ IMM(KF)+TR และ IMM(EKF) ในรูป MSE บนแกน X .....	66
3.31 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูป MSE บนแกน X .....	68
3.32 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Leaving out+EKF ในรูป MSE บนแกน X.....	68
3.33 ค่าความคลาดเคลื่อนของ IMM(KF)+TR และ IMM(EKF) ในรูป MSE บนแกน X.....	68
3.34 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูป MSE บนแกน X .....	70
3.35 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Leaving out+EKF ในรูป MSE บนแกน X.....	70
3.36 ค่าความคลาดเคลื่อนของ IMM(KF)+TR และ IMM(EKF) ในรูป MSE บนแกน X.....	70

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.37 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูป MSE ของกรณีที่ 1 กลุ่มปัญหาที่ 1 บนแกน X.....	73
3.38 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Leaving out+EKF, IMM(KF)+TR และ IMM(EKF) ในรูป MSE ของกรณีที่ 1 กลุ่มปัญหาที่ 1 บนแกน X.....	73
3.39 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูป MSE ของกรณีที่ 1 กลุ่มปัญหาที่ 1 บนแกน Y.....	75
3.40 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Leaving out+EKF, IMM(KF)+TR และ IMM(EKF) ในรูป MSE ของกรณีที่ 1 กลุ่มปัญหาที่ 1 บนแกน Y.....	75
3.41 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูป MSE ของกรณีที่ 2 กลุ่มปัญหาที่ 1 บนแกน X.....	77
3.42 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Leaving out+EKF, IMM(KF)+TR และ IMM(EKF) ในรูป MSE ของกรณีที่ 2 กลุ่มปัญหาที่ 1 บนแกน X.....	77
3.43 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูป MSE ของกรณีที่ 2 กลุ่มปัญหาที่ 1 บนแกน Y.....	79
3.44 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Leaving out+EKF, IMM(KF)+TR และ IMM(EKF) ในรูป MSE ของกรณีที่ 2 กลุ่มปัญหาที่ 1 บนแกน Y.....	79
3.45 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูป MSE ของกรณีที่ 3 กลุ่มปัญหาที่ 1 บนแกน X.....	81
3.46 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Leaving out+EKF, IMM(KF)+TR และ IMM(EKF) ในรูป MSE ของกรณีที่ 3 กลุ่มปัญหาที่ 1 บนแกน X.....	81
3.47 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูป MSE ของกรณีที่ 3 กลุ่มปัญหาที่ 1 บนแกน Y.....	83
3.48 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Leaving out+EKF, IMM(KF)+TR และ IMM(EKF) ในรูป MSE ของกรณีที่ 3 กลุ่มปัญหาที่ 1 บนแกน Y.....	83
3.49 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูป MSE ของกรณีที่ 4 กลุ่มปัญหาที่ 1 บนแกน X.....	85

## สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.50 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Leaving out+EKF, IMM(KF)+TR และ IMM(EKF) ในรูป MSE ของกรณีที่ 4 กลุ่มปัญหาที่ 1 บนแกน X.....	85
3.51 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูป MSE ของกรณีที่ 4 กลุ่มปัญหาที่ 1 บนแกน Y.....	87
3.52 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Leaving out+EKF, IMM(KF)+TR และ IMM(EKF) ในรูป MSE ของกรณีที่ 4 กลุ่มปัญหาที่ 1 บนแกน Y.....	87
3.53 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูป MSE ของกรณีที่ 5 กลุ่มปัญหาที่ 1 บนแกน X.....	89
3.54 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Leaving out+EKF, IMM(KF)+TR และ IMM(EKF) ในรูป MSE ของกรณีที่ 5 กลุ่มปัญหาที่ 1 บนแกน X.....	89
3.55 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูป MSE ของกรณีที่ 5 กลุ่มปัญหาที่ 1 บนแกน Y.....	91
3.56 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Leaving out+EKF, IMM(KF)+TR และ IMM(EKF) ในรูป MSE ของกรณีที่ 5 กลุ่มปัญหาที่ 1 บนแกน Y.....	91
3.57 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูป MSE ของกรณีที่ 6 กลุ่มปัญหาที่ 1 บนแกน X.....	93
3.58 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Leaving out+EKF, IMM(KF)+TR และ IMM(EKF) ในรูป MSE ของกรณีที่ 6 กลุ่มปัญหาที่ 1 บนแกน X.....	93
3.59 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูป MSE ของกรณีที่ 6 กลุ่มปัญหาที่ 1 บนแกน Y.....	95
3.60 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Leaving out+EKF, IMM(KF)+TR และ IMM(EKF) ในรูป MSE ของกรณีที่ 6 กลุ่มปัญหาที่ 1 บนแกน Y.....	95
3.61 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูป MSE ของกรณีที่ 1 กลุ่มปัญหาที่ 2 บนแกน X.....	97
3.62 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Leaving out+EKF, IMM(KF)+TR และ IMM(EKF) ในรูป MSE ของกรณีที่ 1 กลุ่มปัญหาที่ 2 บนแกน X.....	97

## สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.63 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูปแบบ MSE ของกรณีที่ 1 กลุ่มปัญหาที่ 2 บนแกน Y.....	99
3.64 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Leaving out+EKF, IMM(KF)+TR และ IMM(EKF) ในรูปแบบ MSE ของกรณีที่ 1 กลุ่มปัญหาที่ 2 บนแกน Y.....	99
3.65 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูปแบบ MSE ของกรณีที่ 2 กลุ่มปัญหาที่ 2 บนแกน X.....	101
3.66 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Leaving out+EKF, IMM(KF)+TR และ IMM(EKF) ในรูปแบบ MSE ของกรณีที่ 2 กลุ่มปัญหาที่ 2 บนแกน X.....	101
3.67 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูปแบบ MSE ของกรณีที่ 2 กลุ่มปัญหาที่ 2 บนแกน Y.....	103
3.68 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Leaving out+EKF, IMM(KF)+TR และ IMM(EKF) ในรูปแบบ MSE ของกรณีที่ 2 กลุ่มปัญหาที่ 2 บนแกน Y.....	103
3.69 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูปแบบ MSE ของกรณีที่ 3 กลุ่มปัญหาที่ 2 บนแกน X.....	105
3.70 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Leaving out+EKF, IMM(KF)+TR และ IMM(EKF) ในรูปแบบ MSE ของกรณีที่ 3 กลุ่มปัญหาที่ 2 บนแกน X.....	105
3.71 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูปแบบ MSE ของกรณีที่ 3 กลุ่มปัญหาที่ 2 บนแกน Y.....	107
3.72 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Leaving out+EKF, IMM(KF)+TR และ IMM(EKF) ในรูปแบบ MSE ของกรณีที่ 3 กลุ่มปัญหาที่ 2 บนแกน Y.....	107
3.73 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูปแบบ MSE ของกรณีที่ 4 กลุ่มปัญหาที่ 2 บนแกน X.....	109
3.74 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Leaving out+EKF, IMM(KF)+TR และ IMM(EKF) ในรูปแบบ MSE ของกรณีที่ 4 กลุ่มปัญหาที่ 2 บนแกน X.....	109
3.75 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูปแบบ MSE ของกรณีที่ 4 กลุ่มปัญหาที่ 2 บนแกน Y.....	111
3.76 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Leaving out+EKF, IMM(KF)+TR และ IMM(EKF) ในรูปแบบ MSE ของกรณีที่ 4 กลุ่มปัญหาที่ 2 บนแกน Y.....	111

## สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.77 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูป MSE ของกรณีที่ 5 กลุ่มปัญหาที่ 2 บนแกน X.....	113
3.78 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Leaving out+EKF, IMM(KF)+TR และ IMM(EKF) ในรูป MSE ของกรณีที่ 5 กลุ่มปัญหาที่ 2 บนแกน X.....	113
3.79 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูป MSE ของกรณีที่ 5 กลุ่มปัญหาที่ 2 บนแกน Y.....	115
3.80 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Leaving out+EKF, IMM(KF)+TR และ IMM(EKF) ในรูป MSE ของกรณีที่ 5 กลุ่มปัญหาที่ 2 บนแกน Y.....	115
3.81 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูป MSE ของกรณีที่ 6 กลุ่มปัญหาที่ 2 บนแกน X.....	117
3.82 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Leaving out+EKF, IMM(KF)+TR และ IMM(EKF) ในรูป MSE ของกรณีที่ 6 กลุ่มปัญหาที่ 2 บนแกน X.....	117
3.83 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูป MSE ของกรณีที่ 6 กลุ่มปัญหาที่ 2 บนแกน Y.....	119
3.84 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Leaving out+EKF, IMM(KF)+TR และ IMM(EKF) ในรูป MSE ของกรณีที่ 6 กลุ่มปัญหาที่ 2 บนแกน Y.....	119
3.85 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูป MSE ของกรณีที่ 1 กลุ่มปัญหาที่ 3 บนแกน X.....	121
3.86 ค่าความคลาดเคลื่อนของ IMM(KF)+TR และ IMM(EKF) ในรูป MSE ของกรณีที่ 1 กลุ่มปัญหาที่ 3 บนแกน X.....	121
3.87 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูป MSE ของกรณีที่ 1 กลุ่มปัญหาที่ 3 บนแกน Y.....	123
3.88 ค่าความคลาดเคลื่อนของ IMM(KF)+TR และ IMM(EKF) ในรูป MSE ของกรณีที่ 1 กลุ่มปัญหาที่ 3 บนแกน Y.....	123
3.89 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูป MSE ของกรณีที่ 2 กลุ่มปัญหาที่ 3 บนแกน X.....	125

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.90 ค่าความคลาดเคลื่อนของ IMM(KF)+TR และ IMM(EKF) ในรูป MSE ของกรณีที่ 2 กลุ่มปัญหาที่ 3 บนแกน X.....	125
3.91 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูป MSE ของกรณีที่ 2 กลุ่มปัญหาที่ 3 บนแกน Y.....	127
3.92 ค่าความคลาดเคลื่อนของ IMM(KF)+TR และ IMM(EKF) ในรูป MSE ของกรณีที่ 2 กลุ่มปัญหาที่ 3 บนแกน Y.....	127
3.93 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูป MSE ของกรณีที่ 3 กลุ่มปัญหาที่ 3 บนแกน X.....	129
3.94 ค่าความคลาดเคลื่อนของ IMM(KF)+TR และ IMM(EKF) ในรูป MSE ของกรณีที่ 3 กลุ่มปัญหาที่ 3 บนแกน X.....	129
3.95 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูป MSE ของกรณีที่ 3 กลุ่มปัญหาที่ 3 บนแกน Y.....	131
3.96 ค่าความคลาดเคลื่อนของ IMM(KF)+TR และ IMM(EKF) ในรูป MSE ของกรณีที่ 3 กลุ่มปัญหาที่ 3 บนแกน Y.....	131
3.97 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูป MSE ของกรณีที่ 4 กลุ่มปัญหาที่ 3 บนแกน X.....	133
3.98 ค่าความคลาดเคลื่อนของ IMM(KF)+TR และ IMM(EKF) ในรูป MSE ของกรณีที่ 4 กลุ่มปัญหาที่ 3 บนแกน X.....	133
3.99 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูป MSE ของกรณีที่ 4 กลุ่มปัญหาที่ 3 บนแกน Y.....	135
3.100 ค่าความคลาดเคลื่อนของ IMM(KF)+TR และ IMM(EKF) ในรูป MSE ของกรณีที่ 4 กลุ่มปัญหาที่ 3 บนแกน Y.....	135
3.101 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูป MSE ของกรณีที่ 5 กลุ่มปัญหาที่ 3 บนแกน X.....	137
3.102 ค่าความคลาดเคลื่อนของ IMM(KF)+TR และ IMM(EKF) ในรูป MSE ของกรณีที่ 5 กลุ่มปัญหาที่ 3 บนแกน X.....	137
3.103 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูป MSE ของกรณีที่ 5 กลุ่มปัญหาที่ 3 บนแกน Y.....	139

## สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.104 ค่าความคลาดเคลื่อนของ IMM(KF)+TR และ IMM(EKF) ในรูป MSE ของกรณีที่ 5 กลุ่มปัญหาที่ 3 บนแกน Y.....	139
3.105 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูป MSE ของกรณีที่ 6 กลุ่มปัญหาที่ 3 บนแกน X.....	143
3.106 ค่าความคลาดเคลื่อนของ IMM(KF)+TR และ IMM(EKF) ในรูป MSE ของกรณีที่ 6 กลุ่มปัญหาที่ 3 บนแกน X.....	143
3.107 ค่าความคลาดเคลื่อนของ EKF และ MEKF ในรูป MSE ของกรณีที่ 6 กลุ่มปัญหาที่ 3 บนแกน Y.....	145
3.108 ค่าความคลาดเคลื่อนของ IMM(KF)+TR และ IMM(EKF) ในรูป MSE ของกรณีที่ 6 กลุ่มปัญหาที่ 3 บนแกน Y.....	145
3.109 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ EKF เมื่อมี Laplacian Noise 10% และ 20%.....	154
3.110 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ EKF เมื่อมี Laplacian Noise 30% และ 40%.....	154
3.111 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ EKF เมื่อมี Laplacian Noise 50% และ 60%.....	155
3.112 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ EKF เมื่อมี Laplacian Noise 70% และ 80%.....	155
3.113 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ MEKF เมื่อมี Laplacian Noise 10% และ 20%.....	156
3.114 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ MEKF เมื่อมี Laplacian Noise 30% และ 40%.....	156
3.115 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ MEKF เมื่อมี Laplacian Noise 50% และ 60%.....	157
3.116 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ MEKF เมื่อมี Laplacian Noise 70% และ 80%.....	157
3.117 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ Leaving out+EKF เมื่อมี Laplacian Noise 10% และ 20%.....	158



## สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.118 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ Leaving out+EKF เมื่อมี Laplacian Noise 30% และ 40%.....	158
3.119 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ Leaving out+EKF เมื่อมี Laplacian Noise 50% และ 60%.....	159
3.120 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ Leaving out+EKF เมื่อมี Laplacian Noise 70% และ 80%.....	159
3.121 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ IMM(EKF) เมื่อมี Laplacian Noise 10% และ 20%.....	160
3.122 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ IMM(EKF) เมื่อมี Laplacian Noise 30% และ 40%.....	160
3.123 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ IMM(EKF) เมื่อมี Laplacian Noise 50% และ 60%.....	161
3.124 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ IMM(EKF) เมื่อมี Laplacian Noise 70% และ 80%.....	161
3.125 กราฟสรุปผลการทดสอบในรูป CEP 50% ของ EKF และ MEKF เมื่อมี Laplacian Noise ตั้งแต่ 10%-80%.....	162
3.126 กราฟสรุปผลการทดสอบในรูป CEP 50% ของ Leaving out+EKF และ IMM(EKF) เมื่อมี Laplacian Noise ตั้งแต่ 10%-80%.....	162
3.127 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ EKF เมื่อมี Laplacian Noise 5% และ 10%.....	165
3.128 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ EKF เมื่อมี Laplacian Noise 15% และ 20%.....	165
3.129 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ EKF เมื่อมี Laplacian Noise 25% และ 30%.....	166
3.130 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ EKF เมื่อมี Laplacian Noise 35% และ 40%.....	166
3.131 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ EKF เมื่อมี Laplacian Noise 45% และ 50%.....	167

## สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.132 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ EKF เมื่อมี Laplacian Noise 55% และ 60%.....	167
3.133 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ EKF เมื่อมี Laplacian Noise 65% และ 70%.....	168
3.134 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ EKF เมื่อมี Laplacian Noise 75% และ 80%.....	168
3.135 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ EKF เมื่อมี Laplacian Noise 85% และ 90%.....	169
3.136 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ MEKF เมื่อมี Laplacian Noise 5% และ 10%.....	170
3.137 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ MEKF เมื่อมี Laplacian Noise 15% และ 20%.....	170
3.138 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ MEKF เมื่อมี Laplacian Noise 25% และ 30%.....	171
3.139 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ MEKF เมื่อมี Laplacian Noise 35% และ 40%.....	171
3.140 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ MEKF เมื่อมี Laplacian Noise 45% และ 50%.....	172
3.141 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ MEKF เมื่อมี Laplacian Noise 55% และ 60%.....	172
3.142 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ MEKF เมื่อมี Laplacian Noise 65% และ 70%.....	173
3.143 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ MEKF เมื่อมี Laplacian Noise 75% และ 80%.....	173
3.144 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ MEKF เมื่อมี Laplacian Noise 85% และ 90%.....	174
3.145 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ Leaving out+EKF เมื่อมี Laplacian Noise 5% และ 10%.....	175

## สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.146 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ Leaving out+EKF เมื่อมี Laplacian Noise 15% และ 20%.....	175
3.147 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ Leaving out+EKF เมื่อมี Laplacian Noise 25% และ 30%.....	176
3.148 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ Leaving out+EKF เมื่อมี Laplacian Noise 35% และ 40%.....	176
3.149 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ Leaving out+EKF เมื่อมี Laplacian Noise 45% และ 50%.....	177
3.150 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ Leaving out+EKF เมื่อมี Laplacian Noise 55% และ 60%.....	177
3.151 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ Leaving out+EKF เมื่อมี Laplacian Noise 65% และ 70%.....	178
3.152 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ Leaving out+EKF เมื่อมี Laplacian Noise 75% และ 80%.....	178
3.153 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ Leaving out+EKF เมื่อมี Laplacian Noise 85% และ 90%.....	179
3.154 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ IMM(KF)+TR เมื่อมี Laplacian Noise 5% และ 10%.....	180
3.155 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ IMM(KF)+TR เมื่อมี Laplacian Noise 15% และ 20%.....	180
3.156 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ IMM(KF)+TR เมื่อมี Laplacian Noise 25% และ 30%.....	181
3.157 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ IMM(KF)+TR เมื่อมี Laplacian Noise 35% และ 40%.....	181
3.158 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ IMM(KF)+TR เมื่อมี Laplacian Noise 45% และ 50%.....	182
3.159 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ IMM(KF)+TR เมื่อมี Laplacian Noise 55% และ 60%.....	182

## สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.160 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ IMM(KF)+TR เมื่อมี Laplacian Noise 65% และ 70%.....	182
3.161 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ IMM(KF)+TR เมื่อมี Laplacian Noise 75% และ 80%.....	183
3.162 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ IMM(KF)+TR เมื่อมี Laplacian Noise 85% และ 90%.....	184
3.163 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ IMM(EKF) เมื่อมี Laplacian Noise 5% และ 10%.....	185
3.164 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ IMM(EKF) เมื่อมี Laplacian Noise 15% และ 20%.....	185
3.165 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ IMM(EKF) เมื่อมี Laplacian Noise 25% และ 30%.....	186
3.166 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ IMM(EKF) เมื่อมี Laplacian Noise 35% และ 40%.....	186
3.167 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ IMM(EKF) เมื่อมี Laplacian Noise 45% และ 50%.....	187
3.168 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ IMM(EKF) เมื่อมี Laplacian Noise 55% และ 60%.....	187
3.169 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ IMM(EKF) เมื่อมี Laplacian Noise 65% และ 70%.....	188
3.170 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ IMM(EKF) เมื่อมี Laplacian Noise 75% และ 80%.....	188
3.171 ค่าความคลาดเคลื่อนในรูป CEP 50% ของ IMM(EKF) เมื่อมี Laplacian Noise 85% และ 90%.....	189
3.172 กราฟสรุปผลการทดสอบในรูป CEP 50% ของ EKF และ MEKF เมื่อมี Laplacian Noise ตั้งแต่ 5%-90%.....	190
3.173 กราฟสรุปผลการทดสอบในรูป CEP 50% ของ Leaving out+EKF, IMM(KF)+TR และ IMM(EKF) เมื่อมี Laplacian Noise ตั้งแต่ 5%-90%.....	190