การประมาณหาที่ตั้งแหล่งกำเนิดสัญญาณจากการวัดมุมทิศ โดยใช้วิธีคาลแมนฟิลเตอร์แบบยืดขยาย

ร้อยเอก สุรเดช เตารพครู

วิทยานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2539

ISBN 974-633-236-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 16894856

EMITTER LOCATION ESTIMATION FROM BEARING ANGLE MEASUREMENTS BY THE EXTENDED KALMAN FILTER METHOD

Captain Suradech Kaoropcroo

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Electrical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1996

ISBN 974-633-236-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประมาณหาที่ตั้งแหล่งกำเนิดสัญญาณจากการวัดมุมทิศโดยใช้วิธีคาลแมนฟิลเตอร์แบบยืดขยาย
โดย	ร.อ. สุรเดช เคารพครู
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. สมชาย จิตะพันธ์กุล
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	น.อ. ดร. เพียร โตท่าโรง

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ ถุงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ณรงค์ อยู่ถนอม)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. สมชาย จิตะพันธ์กุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(น.อ. ดร. เพียร โตท่าโรง)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร. ทับทิม อ่างแก้ว)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุรเดช เคารพครู, ร.อ. : การประมาณหาที่ตั้งแหล่งกำเนิดสัญญาณจากการวัดมุมทิศโดยใช้วิธีคาลแมนฟิลเตอร์แบบยืดขยาย (EMITTER LOCATION ESTIMATION FROM BEARING ANGLE MEASUREMENTS BY THE EXTENDED KALMAN FILTER METHOD) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล, อ.ที่ปรึกษาร่วม : น.อ. ดร.เพียร โตท่าโรง, 146 หน้า. ISBN 974-633-236-8

ที่ตั้งของแหล่งกำเนิดสัญญาณ สามารถหาได้จากการวัดมุมทิศตั้งแต่ 2 ทิศขึ้นไปโดยใช้เครื่องดักรับหาทิศ ที่ทราบตำแหน่งแล้วนำมาคำนวณโดยใช้วิธีการเล็งสกัด (triangulation) เพื่อหาจุดตัด เนื่องจากมุมทิศที่ได้จากการวัดนั้น จะมีสัญญาณรบกวน (noise) เข้ามาปะปน จึงมีผลให้จุดตัดที่เกิดจากเส้นตรงที่ลากจากเครื่องดักรับหาทิศ ไปตามทิศที่วัดได้ ซึ่งเรียกว่าเส้นมุมทิศ (line of bearing) ไม่ตัดกันเป็นจุดเดียว ถ้ามีเส้นมุมทิศตัดกันสามเส้น จะเกิดเป็นรูปสามเหลี่ยมของความคลาดเคลื่อน (error triangle) ซึ่งจำเป็นจะต้องใช้วิธีการประมาณค่าเพื่อคำนวณหาตำแหน่งที่ตั้งของแหล่งกำเนิดสัญญาณที่แม่นยำที่สุดในพื้นที่สามเหลี่ยมของการคลาดเคลื่อนนี้

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้นำเสนอวิธีการใช้คาลแมนฟิลเตอร์แบบยืดขยาย มาคำนวณหาค่าประมาณของที่ตั้งแหล่งกำเนิดสัญญาณในกรณีของ multiple stationary observer โดยใช้การจำลองบนคอมพิวเตอร์ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ความแม่นยำของวิธีการที่นำเสนอ กับวิธีการที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบัน ผลของการวิจัยพบว่า การประมาณหาที่ตั้งแหล่งกำเนิดสัญญาณจากการวัดมุมทิศ โดยใช้วิธีคาลแมนฟิลเตอร์แบบยืดขยาย ให้ผลความแม่นยำมากกว่าวิธีอื่น ๆ

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ..... **ลายมือชื่อนิสิต** .....

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ..... **ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา** .....

ปีการศึกษา 2538 ..... **ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม** .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C615693 : MAJOR DIGITAL SIGNAL PROCESSING
KEY WORD:
EMITTER LOCATION / BEARING ANGLE / EXTENDED KALMAN FILTER

SURADECH KAOROPCROO, CAPT. : EMITTER LOCATION ESTIMATION FROM BEARING ANGLE MEASUREMENTS BY THE EXTENDED KALMAN FILTER METHOD.
THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. Dr. SOMCHAI JITAPUNKUL, Dr. Ing.
THESIS COADVISOR : Group Capt. Dr. PIAN TOTARONG, Ph.D.

146 pp. ISBN 974-633-236-8

The location of an emitter source can be determined from bearing angle measurements of the known location of passive observers. The emitter position can be obtained from the measured bearing angles by using the triangulation method. Since the measured bearing angles are noisy, the lines of bearing will not intersect at the same point. If there are three lines of bearing, the error triangle is formed. That is, the location estimation method is required to achieve the optimal emitter position within the vicinity of the error area.

In this thesis, the Extended Kalman Filter is proposed to estimate the emitter position in the case of multiple stationary observers. Numerical simulations are performed to compare the accuracy of the proposed method with various conventional methods. The simulations indicate that the performance of Extended Kalman Filter gives the most accurate results.

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลงได้เนื่องจากผู้วิจัยได้รับคำแนะนำ และการช่วยเหลือเป็นอย่างดียิ่ง ตั้งแต่ตอนเสนอโครงร่างจาก รองศาสตราจารย์ ดร. สมชาย จิตะพันธ์กุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ น.อ. ดร. เพียร โตท่าโรง รองผู้อำนวยการกองวิจัยและพัฒนาการสื่อสาร และอิเล็กทรอนิกส์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการทหาร กองบัญชาการทหารสูงสุดอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ในฐานะผู้ควบคุมการวิจัย ซึ่งท่านทั้งสองได้ให้ คำปรึกษา แนะนำ และแก้ไขข้อบกพร่อง ในการวางแบบแผน ตลอดจน ข้อคิดเห็นต่างๆ ในการวิจัยมาโดยตลอด ทำให้การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

นอกจากนี้แล้ว ผู้วิจัยยังได้รับความกรุณาจาก

พ.อ. เอนก	ศาสตราวุธ	เสนาธิการกรมการทหารสื่อสาร
พ.ท.โกสิน	ทวิสุวรรณ์	อาจารย์โรงเรียนทหารสื่อสาร
ร.ท. นพรัตน์	แสงหนุ่ม	อาจารย์โรงเรียนทหารสื่อสาร
คุณ กิตติพงษ์	เจนวิถีสุข	นักศึกษาปริญญาโท
คุณ เดชา	รัตนาธาร	นักศึกษาปริญญาโท
คุณ เสาวลักษณ์	อารีย์พงศา	นักศึกษาปริญญาโท

ซึ่งท่านทั้งหลายได้ให้คำแนะนำ และให้กำลังใจเสมอมา อันเป็นเหตุให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา และพี่สาว ซึ่งได้ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัยจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญภาพ ..... ฌ
บทที่ 1. บทนำ 1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
วัตถุประสงค์ 4
ขอบเขตของการวิจัย 4
วิธีการดำเนินการค้นคว้าและวิจัย 5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5
บทที่ 2. การหาที่ตั้งของแหล่งกำเนิดสัญญาณ 6
รูปแบบของการประมาณหาที่ตั้งแหล่งกำเนิดสัญญาณ 6
1. Moving Observer Measurements 6
2. Fixed Observer Measurements 8
การประมาณหาที่ตั้งแหล่งกำเนิดสัญญาณ จากการวัดมุมทิศ 11
ประเภทของวิธีการประมาณหาที่ตั้งแหล่งกำเนิดสัญญาณ จากการวัดมุมทิศ 11
1. จำนวน 2 Observers 11
2. จำนวน 3 Observers 13
3. จำนวน 4 Observers 13
ขั้นตอนในการประมาณหาที่ตั้งแหล่งกำเนิดสัญญาณ 14
1. หา Optimal Bearing Angle ก่อน 15
2. หา Emitter Location จาก Measured Bearing Angles ก่อน 16
อัลกอริทึมที่ใช้เปรียบเทียบในการประมาณหาตำแหน่งที่ตั้งแหล่งกำเนิดสัญญาณ
ในกรณีที่มากกว่า 2 obsevers 16
1. LOCATION ESTIMATION (LOC.EST.) 16
2. ESTIMATION OPTIMAL DATA FROM NOISY MEASUREMENTS 26

สารบัญ (ต่อ)

อัลกอริทึมที่นำเสนอ 29
1. โครงสร้างของการประมาณหาที่ตั้งแหล่งกำเนิดสัญญาณ โดยวิธี Extended Kalman Filter (EKF) 30
2. รายละเอียดของอัลกอริทึม Extended Kalman Filter (EKF) ที่นำเสนอ 31
บทที่ 3 การจำลองบนคอมพิวเตอร์ 34
แหล่งที่มาของข้อมูล 34
การสร้างแบบจำลองบนคอมพิวเตอร์ 35
กรณีที่ใช้ในการเปรียบเทียบ สำหรับการ Simulate 36
ค่าที่นำไปใช้ในการจำลองบนคอมพิวเตอร์ 38
รูปแบบของการแสดงผลที่ได้จากการทดลอง 39
วิธีการทดลองด้วยการจำลองบนคอมพิวเตอร์ 40
1. รูปแบบของการทดลอง ในลักษณะที่ 1 (หา Optimal Bearing Angle ก่อน) 40
2. รูปแบบของการทดลอง ในลักษณะที่ 2 (หา Emitter Location จาก Measured Bearing Angles ก่อน) 42
3. รูปแบบของการทดลอง ในลักษณะที่ 3 (อัลกอริทึมของ EKF ที่นำเสนอ) 43
การหาค่า Initial covariance matrix ของ state variables 44
การแสดงผลการทดลองในรูปกราฟและตาราง 46
ผลการทดลองของ Case 1 Group 1 50
ผลการทดลองของ Case 1 Group 2 53
ผลการทดลองของ Case 2 Group 1 56
ผลการทดลองของ Case 2 Group 2 59
ผลการทดลองของ Case 3 Group 1 62
ผลการทดลองของ Case 3 Group 2 65
ผลการทดลองของ Case 3 Group 3 68
ผลการทดลองของ Case 3 Group 4 71
ผลการทดลองของ Case 4 Group 1 74
ผลการทดลองของ Case 4 Group 2 77

สารบัญ (ต่อ)

ผลการทดลองของ Case 4 Group 3 80
ผลการทดลองของ Case 4 Group 4 83
ผลการทดลองของ Case 5 Group 1 86
ผลการทดลองของ Case 5 Group 2 89
ผลการทดลองของ Case 5 Group 3 92
ผลการทดลองของ Case 5 Group 4 95
ผลการทดลองของ Case 6 Group 1 98
ผลการทดลองของ Case 6 Group 2 101
ผลการทดลองของ Case 6 Group 3 104
ผลการทดลองของ Case 6 Group 4 107
การแสดงผลในรูป Circular Error Probability 108
ผลการทดลอง ทั้ง 6 Case 119
บทที่ 4. ข้อสรุป และข้อเสนอแนะ 121
ข้อสรุป 121
ข้อเสนอแนะ 125
เอกสารอ้างอิง 126
ภาคผนวก
ก. การสร้างอินพุทของระบบ 128
ข. การประมาณหาที่ตั้งแหล่งกำเนิดสัญญาณโดยวิธี Extended Kalman Filter 137
ประวัติผู้เขียน 146

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าที่นำไปใช้ในการจำลองบนคอมพิวเตอร์ 38
ตารางที่ 3.2 แสดงค่า Standard Deviation (SD) ที่ใช้หาค่าของ initial covariance matrix สำหรับวิธีของ Extended Kalman Filter ใน Case 3 45
ตารางที่ 3.3 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case1 Group1 บนแกน X 48
ตารางที่ 3.4 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case1 Group1 บนแกน Y 49
ตารางที่ 3.5 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case1 Group2 บนแกน X 51
ตารางที่ 3.6 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case1 Group2 บนแกน Y 52
ตารางที่ 3.7 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case2 Group1 บนแกน X 54
ตารางที่ 3.8 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case2 Group1 บนแกน Y 55
ตารางที่ 3.9 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case2 Group2 บนแกน X 57
ตารางที่ 3.10 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case2 Group2 บนแกน Y 58
ตารางที่ 3.11 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case3 Group1 บนแกน X 60
ตารางที่ 3.12 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case3 Group1 บนแกน Y 61
ตารางที่ 3.13 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case3 Group2 บนแกน X 63
ตารางที่ 3.14 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case3 Group2 บนแกน Y 64
ตารางที่ 3.15 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case3 Group3 บนแกน X 66
ตารางที่ 3.16 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case3 Group3 บนแกน Y 67
ตารางที่ 3.17 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case3 Group4 บนแกน X 69
ตารางที่ 3.18 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case3 Group4 บนแกน Y 70
ตารางที่ 3.19 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case4 Group1 บนแกน X 72
ตารางที่ 3.20 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case4 Group1 บนแกน Y 73
ตารางที่ 3.21 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case4 Group2 บนแกน X 75
ตารางที่ 3.22 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case4 Group2 บนแกน Y 76
ตารางที่ 3.23 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case4 Group3 บนแกน X 78
ตารางที่ 3.24 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case4 Group3 บนแกน Y 79
ตารางที่ 3.25 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case4 Group4 บนแกน X 81
ตารางที่ 3.26 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case4 Group4 บนแกน Y 82

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ 3.27 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case5 Group1 บนแกน X 84
ตารางที่ 3.28 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case5 Group1 บนแกน Y 85
ตารางที่ 3.29 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case5 Group2 บนแกน X 87
ตารางที่ 3.30 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case5 Group2 บนแกน Y 88
ตารางที่ 3.31 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case5 Group3 บนแกน X 90
ตารางที่ 3.32 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case5 Group3 บนแกน Y 91
ตารางที่ 3.33 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case5 Group4 บนแกน X 93
ตารางที่ 3.34 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case5 Group4 บนแกน Y 94
ตารางที่ 3.35 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case6 Group1 บนแกน X 96
ตารางที่ 3.36 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case6 Group1 บนแกน Y 97
ตารางที่ 3.37 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case6 Group2 บนแกน X 99
ตารางที่ 3.38 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case6 Group2 บนแกน Y 100
ตารางที่ 3.39 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case6 Group3 บนแกน X 102
ตารางที่ 3.40 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case6 Group3 บนแกน Y 103
ตารางที่ 3.41 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case6 Group4 บนแกน X 105
ตารางที่ 3.42 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case6 Group4 บนแกน Y 106
ตารางที่ 3.43 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป Circular Error Probability
โดยใช้ Extended Kalman Filter Method (Case 1) 109
ตารางที่ 3.44 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป Circular Error Probability
โดยใช้ Extended Kalman Filter Method (Case 2) 110
ตารางที่ 3.45 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป Circular Error Probability
โดยใช้ Extended Kalman Filter Method (Case 3) 111
ตารางที่ 3.46 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป Circular Error Probability
โดยใช้ Extended Kalman Filter Method (Case 4) 112
ตารางที่ 3.47 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป Circular Error Probability
โดยใช้ Extended Kalman Filter Method (Case 5) 113

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ 3.48 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป Circular Error Probability
โดยใช้ Extended Kalman Filter Method (Case 6) 114
ตารางที่ 3.49 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป Circular Error Probability
โดยใช้ Simple Average Method (Case 3) 115
ตารางที่ 3.50 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป Circular Error Probability
โดยใช้ Least Square Method (Case 3) 116
ตารางที่ 3.51 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป Circular Error Probability
โดยใช้ Standfield Algorithm Method (Case 3) 117
ตารางที่ 3.52 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป Circular Error Probability
โดยใช้ Torrieri Algorithm Method (Case 3) 118
ตารางที่ 4.1 แสดงลำดับค่าความแม่นยำของการเปรียบเทียบระหว่าง EKF กับ ML+LOC.EST.
ใน Case 1, 2 122
ตารางที่ 4.2 แสดงลำดับค่าความแม่นยำของการเปรียบเทียบระหว่าง EKF กับ KF+LOC.EST.
ใน Case 1, 2 122
ตารางที่ 4.3 แสดงลำดับค่าความแม่นยำของการเปรียบเทียบระหว่าง EKF กับ ML+LOC.EST.
ของแต่ละวิธีใน Case 3, 4, 5, 6 122
ตารางที่ 4.4 แสดงลำดับค่าความแม่นยำของการเปรียบเทียบระหว่าง EKF กับ KF+LOC.EST.
ของแต่ละวิธีใน Case 3, 4, 5, 6 122
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความแม่นยำ ในรูป CEP ของ EKF
โดยเปรียบเทียบ ทั้ง 6 Case 123
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความแม่นยำ ในรูป CEP โดยเปรียบเทียบระหว่าง EKF
กับวิธีต่าง ๆ ที่ใช้ในการหา LOC.EST ใน Case 3 123

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 lines of bearing from aircraft position 7
รูปที่ 2.2 Intesecting hyperbolas from three observers 8
รูปที่ 2.3 Source Localization 9
รูปที่ 2.4 Navigation 10
รูปที่ 2.5 Intersection ของ 2 lines of bearing 11
รูปที่ 2.6 Intersection ของ 3 lines of bearing 13
รูปที่ 2.7 Intersection ของ 4 lines of bearing 14
รูปที่ 2.8 หา Optimal Bearing Angle ก่อน 15
รูปที่ 2.9 หา Emitter Location จาก Measured Bearing Angles ก่อน 16
รูปที่ 2.10 Least square method 17
รูปที่ 2.11 Stansfield algolithm method 22
รูปที่ 2.12 Torrieri algolithm method 24
รูปที่ 2.13 Kalman filter recursive Process 28
รูปที่ 2.14 Block Diagram ของการประมาณหาที่ตั้งแหล่งกำเนิดสัญญาณโดยวิธี EKF 30
รูปที่ 3.1 แสดงกรณีที่ใช้ในการเปรียบเทียบ สำหรับการ Simulate 37
รูปที่ 3.2 แสดงรูปแบบของการทดลองในลักษณะที่ 1 41
รูปที่ 3.3 แสดงรูปแบบของการทดลองในลักษณะที่ 2 42
รูปที่ 3.4 แสดงรูปแบบของการทดลองในลักษณะที่ 3 43
รูปที่ 3.5 แสดงค่า Standard Deviation (SD) ที่ใช้หาค่าของ initial covariance matrix
สำหรับวิธีของ Extended Kalman Filter ใน กรณีที่ 3 45
รูปที่ 3.6 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case1 Group1 บนแกน X 48
รูปที่ 3.7 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case1 Group1 บนแกน Y 49
รูปที่ 3.8 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case1 Group2 บนแกน X 51
รูปที่ 3.9 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case1 Group2 บนแกน Y 52
รูปที่ 3.10 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case2 Group1 บนแกน X 54
รูปที่ 3.11 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case2 Group1 บนแกน Y 55
รูปที่ 3.12 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case2 Group2 บนแกน X 57

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ 3.13 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case2 Group2 บนแกน Y 58
รูปที่ 3.14 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case3 Group1 บนแกน X 60
รูปที่ 3.15 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case3 Group1 บนแกน Y 61
รูปที่ 3.16 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case3 Group2 บนแกน X 63
รูปที่ 3.17 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case3 Group2 บนแกน Y 64
รูปที่ 3.18 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case3 Group3 บนแกน X 66
รูปที่ 3.19 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case3 Group3 บนแกน Y 67
รูปที่ 3.20 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case3 Group4 บนแกน X 69
รูปที่ 3.21 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case3 Group4 บนแกน Y 70
รูปที่ 3.22 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case4 Group1 บนแกน X 72
รูปที่ 3.23 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case4 Group1 บนแกน Y 73
รูปที่ 3.24 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case4 Group2 บนแกน X 75
รูปที่ 3.25 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case4 Group2 บนแกน Y 76
รูปที่ 3.26 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case4 Group3 บนแกน X 78
รูปที่ 3.27 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case4 Group3 บนแกน Y 79
รูปที่ 3.28 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case4 Group4 บนแกน X 81
รูปที่ 3.29 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case4 Group4 บนแกน Y 82
รูปที่ 3.30 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case5 Group1 บนแกน X 84
รูปที่ 3.31 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case5 Group1 บนแกน Y 85
รูปที่ 3.32 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case5 Group2 บนแกน X 87
รูปที่ 3.33 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case5 Group2 บนแกน Y 88
รูปที่ 3.34 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case5 Group3 บนแกน X 90
รูปที่ 3.35 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case5 Group3 บนแกน Y 91
รูปที่ 3.36 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case5 Group4 บนแกน X 93
รูปที่ 3.37 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case5 Group4 บนแกน Y 94
รูปที่ 3.38 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case6 Group1 บนแกน X 96
รูปที่ 3.39 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case6 Group1 บนแกน Y 97

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ 3.40 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case6 Group2 บนแกน X 99
รูปที่ 3.41 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case6 Group2 บนแกน Y 100
รูปที่ 3.42 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case6 Group3 บนแกน X 102
รูปที่ 3.43 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case6 Group3 บนแกน Y 103
รูปที่ 3.44 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case6 Group4 บนแกน X 105
รูปที่ 3.45 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป MSE ของ Case6 Group4 บนแกน Y 106
รูปที่ 3.46 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูป Circular Error Probability 108