บทที่ 4

ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ

4.1 ข้อสรุป

การพัฒนาทางเทคโนโลยีในยุคปัจจุบัน ได้เข้ามามีบทบาทที่สำคัญกับระบบอาวุธยุทโธปกรณ์และเครื่องมือสื่อสารของกองทัพ เนื่องจากขีดความสามารถและมาตรการทางสงครามอิเล็กทรอนิกส์นั้น เป็นปัจจัยที่สำคัญที่กองทัพได้เห็นถึงความสำคัญในการพัฒนาวิจัยให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น เพื่อให้เกิดข้อได้เปรียบทางยุทธวิธี จากความสำคัญของปัจจัยดังกล่าวกอปรกับการใช้เครื่องดักรับหาทิศของกองทัพได้ประสบปัญหาในเรื่องสัญญาณรบกวน คือ การส่งสัญญาณรบกวนจากฝ่ายตรงข้าม หรือ การรบกวนจากเครื่องมือสื่อสารที่มีกำลังส่งสูงกว่า ทำให้เครื่องมือที่ใช้ในการประมาณหาที่ตั้งแหล่งกำเนิดสัญญาณขาดความแม่นยำและมีค่าความผิดพลาดไป ดังนั้น แนวโน้มในอนาคตทางกองทัพโดยกองร้อยปฏิบัติการสงครามอิเล็กทรอนิกส์จึงมีความต้องการในการพัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้หาที่ตั้งแหล่งกำเนิดสัญญาณให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ภายใต้สภาพที่จำกัดหรือปัญหาต่างๆจากสัญญาณรบกวน

จากงานวิจัยที่ผ่านมาของการประมาณที่ตั้งแหล่งกำเนิดสัญญาณ ในกรณีที่ใช้เครื่องดักรับหาทิศแบบเคลื่อนที่และกรณีที่ใช้เครื่องดักรับหาทิศแบบอยู่กับที่ ซึ่งใช้วงจรกรองคาลมานแบบยืดขยายนั้น ไม่ได้พิจารณาลงไปในรายละเอียดในเรื่องของรูปแบบหรือการแจกแจงของสัญญาณรบกวนทั้งที่เป็นแบบเกาส์และไม่เป็นแบบเกาส์ เช่น ค่ากำลังของสัญญาณรบกวน หรือ สัญญาณรบกวนจากฝ่ายตรงข้าม ดังนั้น ในงานวิจัยของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ จึงได้นำปัญหาในเรื่องของสัญญาณรบกวนมาพิจารณา เพื่อให้การพัฒนามีความต่อเนื่อง มีความสมเหตุสมผลและมีความแม่นยำ รวมทั้งให้ระบบสามารถทนต่อสัญญาณรบกวนที่มีรูปแบบการแจกแจงที่เป็นแบบเกาส์และไม่เป็นแบบเกาส์ ทั้งในกรณีที่ใช้เครื่องดักรับหาทิศแบบเคลื่อนที่และกรณีที่ใช้เครื่องดักรับหาทิศแบบอยู่กับที่ ซึ่งผู้วิจัยมีแนวความคิดและแรงจูงใจที่จะพัฒนาและศึกษาการนำอัลกอริทึมแบบไอเอ็มเอ็ม มาใช้ในการประมาณหาที่ตั้งแหล่งกำเนิดสัญญาณ เมื่อพิจารณาสัญญาณรบกวนที่ไม่เป็นแบบเกาส์และสัญญาณรบกวนที่เป็นแบบเกาส์แต่มีค่ากำลังแตกต่างกัน เนื่องจากวิธีการนี้ใช้ได้ดีในระบบเรด้าห์ค้นหาเป้าหมาย กรณีที่มีสัญญาณรบกวนแบบกลิ้นท์ ดังนั้น ถ้านำมาประยุกต์ใช้ในการประมาณหาที่ตั้งแหล่งกำเนิดสัญญาณก็น่าจะให้ผลที่ดีด้วยเช่นกัน สำหรับโครงสร้างของงานวิจัยทั้งหมด แสดงไว้ดังตารางที่ 4.1 ดังต่อไปนี้คือ

ตารางที่ 4.1 โครงสร้างงานวิจัยโดยรวม

กรณีที่ใช้เครื่องดักรับทิศ	Moving Observer			Multiple Fixed Observers		
กรณีทดสอบ	1 กรณีคือ ใช้ 1 DF ทำการวัด 10 ครั้ง			1) 2 DF Source In 2) 2 DF Source Out 3) 3 DF Source In 4) 3 DF Source Out 5) 4 DF Source In 6) 4 DF Source Out		
จำนวนครั้งที่วัด	10 ครั้ง			40 ครั้ง		
Monte Carlo Run	10 Monte Carlo Run			100 Monte Carlo Run		
พิกัดของแหล่งกำเนิดสัญญาณ (km)	(141,141)			(15,15)		
ค่ามาตรฐาน(km)	0.05			0.05		
กลุ่มปัญหา	Laplacian Noise	Uniform Noise	Gaussian Noise ค่ากำลังต่างกัน	Laplacian Noise	Uniform Noise	Gaussian Noise ค่ากำลังต่างกัน
% of Noise	10%-80%		-	5%-90%		-
วิธีที่นำเสนอ	1) IMM(EKF)			1) IMM(EKF) 2) IMM(KF)+TR		
วิธีที่เปรียบเทียบ	1) EKF 2) MEKF 3) Leaving out+EKF		1) EKF 2) MEKF	1) EKF 2) MEKF 3) Leaving out+EKF		1) EKF 2) MEKF
การแสดงผล	MSE (km)		CEP 50% (km)	MSE (km)		CEP 50% (km)
แกน	X	y	x , y	x	y	x , y

4.1.1 กรณีที่ใช้เครื่องดักรับทิศแบบเคลื่อนที่

จากผลการทดสอบในรูป MSE ได้นำมาสรุปเพื่อจัดลำดับตามความแม่นยำจากมากที่สุดไปน้อยที่สุด ดังสรุปไว้ในตารางที่ 4.2 ดังต่อไปนี้คือ

ตารางที่ 4.2 ลำดับความแม่นยำของทุกวิธี ในรูป MSE เมื่อใช้เครื่องดักรับทิศแบบเคลื่อนที่

กรณีที่ใช้ทดสอบ	กลุ่มของปัญหาที่พิจารณา	EKF		MEKF		Leaving out+EKF		IMM(EKF)	
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
ทำการวัด 10 ครั้ง	Laplacian Noise 10%-80%	3	3	4	4	2	2	1	1
	Uniform Noise 10%-80%	3	3	4	4	2	2	1	1
	Gaussian Noise Variance ต่างกัน	2	2	3	3	-	-	1	1

และจากผลการทดสอบของค่าความผิดพลาดในรูปของ CEP 50% โดยใช้ 100 Monte Carlo Run เมื่อเลือกพิจารณากลุ่มของปัญหาในกลุ่มที่ 1 ดังสรุปไว้ในตารางที่ 4.3 ดังต่อไปนี้คือ

ตารางที่ 4.3 ลำดับความแม่นยำของทุกวิธี ในรูป CEP 50% เมื่อใช้เครื่องดักรับหาทิศแบบเคลื่อนที่

วิธีการ	Mean of CEP 50%	ลำดับความแม่นยำ
EKF	6.2919	3
MEKF	6.7314	4
Leaving out+EKF	0.5890	2
IMM(EKF)	0.4401	1

4.1.2 กรณีที่ใช้เครื่องดักรับหาทิศแบบอยู่กับที่

จากผลการทดสอบในรูป MSE นำมาสรุปเพื่อจัดลำดับตามความแม่นยำจากมากที่สุดไปน้อยที่สุด ดังสรุปไว้ในตารางที่ 4.4 ถึง 4.6 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.4 ลำดับความแม่นยำของทุกวิธี กลุ่มปัญหาที่ 1 ในรูป MSE เมื่อใช้เครื่องดักรับหาทิศแบบอยู่กับที่

กรณีที่ใช้ทดสอบ	EKF		MEKF		Leaving out+EKF		IMM(KF)+TR		IMM(EKF)	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1	4	4	5	5	3	3	2	2	1	1
2	4	4	5	5	3	3	2	2	1	1
3	4	4	5	5	3	3	2	2	1	1
4	4	4	5	5	3	3	2	2	1	1
5	4	4	5	5	3	3	2	2	1	1
6	4	4	5	5	3	3	2	2	1	1

ตารางที่ 4.5 ลำดับความแม่นยำของทุกวิธี กลุ่มปัญหาที่ 2 ในรูป MSE เมื่อใช้เครื่องดักรับหาทิศแบบอยู่กับที่

กรณีที่ใช้ทดสอบ	EKF		MEKF		Leaving out+EKF		IMM(KF)+TR		IMM(EKF)	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1	4	4	5	5	3	3	2	2	1	1
2	4	4	5	5	3	3	2	2	1	1
3	4	4	5	5	3	3	2	2	1	1
4	4	4	5	5	3	3	2	2	1	1
5	4	4	5	5	3	3	2	2	1	1
6	4	4	5	5	3	3	2	2	1	1

ตารางที่ 4.6 ลำดับความแม่นยำของทุกวิธี กลุ่มปัญหาที่ 3 ในรูป MSE เมื่อใช้เครื่องดักรับหาทิศแบบอยู่กับที่

กรณีที่ใช้ทดสอบ	EKF		MEKF		IMM(KF)+TR		IMM(EKF)	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1	3	3	4	4	2	2	1	1
2	3	3	4	4	2	2	1	1
3	3	3	4	4	2	2	1	1
4	3	3	4	4	2	2	1	1
5	3	3	4	4	2	2	1	1
6	3	3	4	4	2	2	1	1

และจากผลการทดสอบ ในกรณีที่ใช้เครื่องดักรับหาทิศแบบอยู่กับที่ ซึ่งแสดงค่าความผิดพลาดในรูปของ CEP 50% โดยใช้ 100 Monte Carlo Run ในกรณีที่ 3 ที่ทำการวัดจำนวน 40 ครั้ง เมื่อเลือกพิจารณากลุ่มของปัญหาในกลุ่มที่ 1 Laplacian Noise ได้นำมาสรุปได้ดังตารางที่ 4.7 คือ

ตารางที่ 4.7 ลำดับความแม่นยำของทุกวิธี กรณีที่ 3 กลุ่มปัญหาที่ 1 ในรูป CEP 50%
เมื่อใช้เครื่องดักรับหาทิศแบบอยู่กับที่

วิธีการ	Mean of CEP 50%	ลำดับความแม่นยำ
EKF	0.9020	4
MEKF	1.2623	5
Leaving out+EKF	0.0681	3
IMM(KF)+TR	0.0655	2
IMM(EKF)	0.0744	1

จากผลการทดสอบทั้งกรณีที่ใช้เครื่องดักรับหาทิศแบบเคลื่อนที่และแบบอยู่กับที่ สามารถสรุปผลการทดสอบในงานวิจัยได้ดังนี้คือ

1) วิธี EKF และ MEKF ไม่เหมาะกับกรณีที่มีสัญญาณรบกวนที่ไม่เป็นแบบเกาส์และสัญญาณรบกวนเป็นแบบเกาส์แต่ค่ากำลังแตกต่างกัน
2) วิธี Leaving out+EKF สามารถแก้ปัญหา กรณีที่มีสัญญาณรบกวนที่ไม่เป็นแบบเกาส์ได้ ถ้าปริมาณของสัญญาณรบกวนที่ไม่เป็นแบบเกาส์ที่ปนเข้ามา มีจำนวนไม่มากนัก
3) วิธี IMM(KF)+TR แก้ปัญหา กรณีที่มีสัญญาณรบกวนที่ไม่เป็นแบบเกาส์ได้ดีกว่า Leaving out+EKF อย่างไรก็ตาม จะเสียเวลาในการประมวลผล เนื่องจากต้องผ่านกระบวนการทำงานหลัก 2 ขั้นตอน คือ IMM(KF) และ Torrieri
4) วิธี IMM(EKF) แก้ปัญหากรณีที่มีสัญญาณรบกวนที่ไม่เป็นแบบเกาส์และสัญญาณรบกวนเป็นแบบเกาส์แต่ค่ากำลังแตกต่างกัน ได้ดีที่สุด และใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่า IMM(KF)+TR

5) ข้อพิจารณาในการเลือกใช้วิธี IMM(KF)+TR และ IMM(EKF) ในกรณีสัญญาณรบกวนเป็นแบบเกาส์ แต่ค่ากำลังแตกต่างกัน ถึงแม้จะแก้ไขปัญหาตรงนี้ได้ แต่เนื่องจาก วิธีการนี้ก็มีข้อเสียเปรียบในเรื่องของความสิ้นเปลือง เพราะต้องใช้วงจรกรองภายในมาก ถ้าค่ากำลังของสัญญาณรบกวนที่แตกต่างกันหลายๆ ค่าในแต่ละพื้นที่ที่ทำการวัดมีมาก ดังนั้น ควรนำปัจจัยที่สำคัญอื่นๆ เช่น งบประมาณ , ผลทางยุทธวิธี เป็นต้น มาพิจารณาตามลำดับความสำคัญ ในการตัดสินใจด้วย

6) ลำดับความทนทานของแต่ละวิธีที่มีต่อสัญญาณรบกวนที่เข้ามาในระบบ เรียงลำดับจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้คือ IMM(EKF), IMM(KF)+TR, Leaving out + EKF, EKF และ MEKF

7) จำนวนครั้งที่ทำการวัดสำหรับการใช้เครื่องดักรับหาทิศแบบเคลื่อนที่ มีน้อยเกินไป ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนโดยรวมยังมีค่าสูงอยู่ และแม้ว่าจะทำการวัดเพิ่ม ปัญหาต่อมา คือ ตำแหน่งของเครื่องดักรับหาทิศจะอยู่ห่างแหล่งกำเนิดสัญญาณมากขึ้นด้วย ดังนั้น การใช้เครื่องดักรับหาทิศแบบอยู่กับที่จึงเหมาะสมมากกว่าการใช้เครื่องดักรับหาทิศแบบเคลื่อนที่ ในกรณีที่ระบบมีสัญญาณรบกวนไม่เป็นแบบเกาส์

8) การใช้เครื่องดักรับหาทิศแบบอยู่กับที่ที่เหมาะสมที่สุด ตามนโยบายของกองทัพ คือ ใช้เครื่องดักรับหาทิศจำนวน 3 เครื่อง

9) เครื่องดักรับหาทิศแบบอยู่กับที่ จะให้ประสิทธิภาพเหมาะสมที่สุด ถ้าแหล่งกำเนิดสัญญาณอยู่ในพื้นที่ดักรับสัญญาณของเครื่องดักรับหาทิศ

4.2 ข้อเสนอแนะ

ในการประมาณที่ตั้งแหล่งกำเนิดสัญญาณ จากการวัดมุมทิศ ภายใต้สภาวะปัญหาที่เกิดจากสัญญาณรบกวนในรูปแบบต่างๆ นั้น นอกจากจะใช้อัลกอริทึมแบบไอเอ็มเอ็มที่ใช้วงจรกรองคาลมานแบบยืดขยายอยู่ภายในแล้ว (IMM(EKF)) เราอาจจะพิจารณาเลือกใช้วงจรกรองภายในที่เป็น การขยายวงจรกรองคาลมานแบบยืดขยาย (MEKF) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในเรื่องความแม่นยำในการประมาณที่ตั้งแหล่งกำเนิดสัญญาณที่ทนต่อสัญญาณรบกวนให้มีมากยิ่งขึ้นได้