

การประมาณค่าทิศทาง การมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์

ร้อยเอก เอกวัฒน์ กิรติรัตนพฤษ์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-346-409-3

ลิขสิทธิ์ของ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 194240&5

DIRECTION OF ARRIVAL ESTIMATION OF PULSED SINUSOID SOURCES

Captain Eakwat Kiratiratanaphrug

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

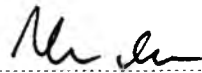
Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 974-346-409-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การประมาณค่าทิศทางลมมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์
โดย ร.อ.เอกวัฒน์ กิรติรัตนพฤษ์
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. สมชาย จิตะพันธ์กุล
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม นาวาอากาศเอก ดร. เพียร โตท่าโรง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการ
ศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



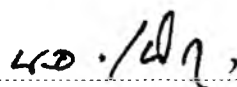
ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. เทียนชัย ประดิศถายน)



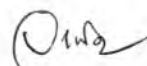
อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. สมชาย จิตะพันธ์กุล)



อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(นาวาอากาศเอก ดร. เพียร โตท่าโรง)



กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. วาติต เบญจพลงกุล)

ร.อ.เอกวัฒน์ กิระดิรัตน์พุกษ์ : การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ไซน์ซออยด์
(DIRECTION OF ARRIVAL ESTIMATION OF PULSED SINUSOID SOURCES)

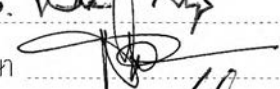
อ.ที่ปรึกษา : รศ. ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล, อ.ที่ปรึกษาร่วม : น.อ. ดร.เพียร โตท่าโรง 197 หน้า.

ISBN 974-346-409-3

การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ สามารถทำได้จากการวัดมุมทิศที่เกิดขึ้น โดยใช้ ตัวหาทิศทาง ที่ประกอบกันขึ้นในลักษณะของ แถวลำดับเชิงเส้นสม่ำเสมอ ด้วยวิธีการที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบัน ได้แก่ วิธีบีมฟอร์มเมอร์ วิธีการประมาณพหุเชิงเส้น สำหรับวิธีการดังกล่าว ได้มีการนำมาใช้ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณในกรณีที่เป็นสัญญาณไซน์ซออยด์ อย่างไรก็ตามยังมีสัญญาณที่น่าสนใจอีกประเภทหนึ่ง ที่เกิดจากการปฏิบัติการทางทหาร คือ สัญญาณพัลส์ไซน์ซออยด์ ได้จากการทดลองยิงปืนใหญ่สนามขนาด 155 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นสัญญาณที่ยังไม่เคยมีการวิจัยนำมาใช้ในงานทางด้าน การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณมาก่อน

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงได้นำเสนอการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ กรณีที่เป็นสัญญาณพัลส์ไซน์ซออยด์เพื่อหาแนวทางที่เหมาะสมด้วยวิธีการที่นิยมใช้ในปัจจุบันดังที่ได้กล่าวมาแล้ว และได้ทำการศึกษาวิธีผลการแปลงฮิลเบิร์ตมาใช้ โดยการจำลองบนคอมพิวเตอร์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพเรื่องความแม่นยำ ความทนทานต่อสัญญาณรบกวน และการนำมาใช้ออกแบบระบบเครื่องหาทิศทางสัญญาณ ผลของการวิจัยพบว่า วิธีบีมฟอร์มเมอร์สามารถนำมาใช้ในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ไซน์ซออยด์ได้แม่นยำกว่าวิธีการประมาณพหุเชิงเส้น โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศไม่เกิน 0.5 องศา สำหรับวิธีผลการแปลงฮิลเบิร์ตจะให้ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศมากที่สุด

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2543

ลายมือชื่อนิสิต ๑๐. ๑๐๑/๔๕
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ๑๐./๔๑

CAPT. EAKWAT KIRATIRATANAPHRUG : DIRECTION OF ARRIVAL ESTIMATION OF PULSED SINUSOID SOURCES. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. DR.SOMCHAI JITAPUNKUL, Dr.Eng. THESIS COADVISOR : Group Capt. PIAN TOTARONG, Ph.D 197 pp. ISBN 974-346-409-3

Direction of arrival estimation for signal source can be done by measurement of the bearing angle using direction finder consisting of uniform linear array. The conventional methods are Beamformer method and Linear prediction method. These methods are normally used for direction of arrival estimation of sources radiating sinusoid signal. However, There is one kind of interested signal that has never been researched before and occurs from military operation, it is pulse sinusoid signal which is emitted from 155 mm artillery firing.

This thesis proposes direction of arrival estimation of pulse sinusoid source by using the typical method as well as providing new approach of Hilbert transforms to find the most efficient method. Computer simulations are used to compare these methods in correctness, noise robustness, and implementation of direction finding system. The results of the research indicate that beamformer method can be effectively used for direction of arrival estimation of pulse sinusoid sources. It generates results with error in bearing angle less than 0.5 degree. Linear prediction method gives results that are accurate less than Beamformer method. Hilbert transforms method makes the worst accurate results.

Department Electrical Engineering Student's signature Eakwat
 Field of study Electrical Engineering Advisor's signature Somchai
 Academic year 2000 Co-advisor's signature Pian Totarong

กิตติกรรมประกาศ



ผ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงไปได้ เนื่องด้วยผู้วิจัยได้รับคำแนะนำและการช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก รศ. ดร. สมชาย จิตะพันธ์กุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ น.อ. ดร. เพียร โตท่าโรง ผู้อำนวยการกองวิจัยและพัฒนาการสื่อสารอิเล็กทรอนิกส์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการทางทหาร อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านทั้งสองได้ให้คำแนะนำความรู้ทางวิชาการและคำปรึกษารวมทั้งแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ตลอดจนข้อคิดเห็นต่างๆ ในการวิจัยมาโดยตลอด ซึ่งนอกจากนี้ ผู้วิจัยยังได้รับความกรุณาจาก ร.อ.นพรัตน์ แสงหนุ่ม ร.อ.เพชรพล สิ้นสุวรรณนท์ ร.อ.เอกพล จูชะพันธ์ และ ร.ท.เอกพงศ์ แผงกุล ตลอดจนผู้บังคับบัญชาทุกท่านที่เกี่ยวข้องที่มีได้เอื้อน้อม ซึ่งท่านทั้งหลายเหล่านี้ ได้ให้คำแนะนำ และช่วยเหลือในเรื่องของข้อมูลต่างๆ อันทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ซึ่งท่านทั้งสองเป็นผู้ให้ช่วยเหลือสนับสนุนในเรื่องต่างๆ ตลอดจนเป็นกำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา อันเป็นเหตุวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญภาพ	ฅ
บัญชีคำศัพท์	ฐ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.4 วิธีดำเนินการค้นคว้าและวิจัย	5
1.5 กำหนดการวิจัย	5
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
2. หลักการหาทิศทาง การมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ	7
2.1 วิธีการประมาณที่ตั้งแหล่งกำเนิดสัญญาณจากการวัดมุมทิศ	7
2.1.1 การใช้เครื่องหาทิศทางสัญญาณแบบเคลื่อนที่	7
2.1.2 การใช้เครื่องหาทิศทางสัญญาณแบบอยู่กับที่	7
2.2 ระบบเครื่องหาทิศทางสัญญาณแบบแอนะล็อก	9
2.2.1 ระบบที่ใช้การหมุนสายอากาศสภาพเจาะจงทิศสูง	9
2.2.2 ระบบ ADCOCK / WATSON - WATT	9
2.2.3 ระบบ Pseudo - Doppler Effect	10
2.3 ระบบเครื่องหาทิศทางสัญญาณแบบดิจิทัล	11
2.3.1 ระบบเครื่องมือวัดใช้หลักการแทรกสอด	11
2.3.2 ระบบ Phase Array	11
2.4 การหาทิศทาง การมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ	13
2.4.1 แบบจำลองของสัญญาณ	13
2.4.2 แบบจำลองของสัญญาณไซนุซอยด์	14

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.5 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	16
2.5.1 วิธีการประมาณค่าเวลาประวิง	16
2.5.2 วิธีบีมฟอร์มเมอร์	17
2.5.3 วิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น	19
2.5.3.1 Levinson Algorithm	22
2.5.3.2 Burg Algorithm	24
2.5.4 วิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต	26
3. การหาทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์	28
3.1 กล่าวทั่วไป	28
3.2 แหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์	29
3.2.1 แบบจำลองสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ลักษณะที่ 1	30
3.2.2 แบบจำลองสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ลักษณะที่ 2	31
3.3 การทดสอบแบบจำลองสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์	32
3.3.1 ผลการทดสอบที่ 3.1	33
3.3.2 ผลการทดสอบที่ 3.2	34
3.4 วิธีการนำเสนอในวิทยานิพนธ์	37
4. การจำลองบนคอมพิวเตอร์	38
4.1 แหล่งที่มาของข้อมูล	38
4.2 การสร้างแบบจำลองบนคอมพิวเตอร์และกรณีที่ใช้ทดสอบ	38
4.2.1 กรณีของแหล่งกำเนิดสัญญาณ	40
4.2.2 วิธีการที่นำไปใช้ในการทดลอง	40
4.2.3 ค่าของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น	41
4.2.4 กรณีที่นำไปใช้ทดลองประมาณค่ามุมทิศ	41
4.3 การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีบีมฟอร์มเมอร์	43
- ผลการทดสอบที่ 4.1 กรณีเปรียบเทียบการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของ แหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์วิธีบีมฟอร์มเมอร์	43
- ผลการทดสอบที่ 4.2 กรณีเปรียบเทียบการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของ แหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์วิธีบีมฟอร์มเมอร์ที่สายอากาศ $m = 8, 16$ และ 24 ชุด	49

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
- ผลการทดสอบที่ 4.3 กรณีเปรียบเทียบการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์วิธีบีเอ็มฟอร์มเมอร์ ที่สัญญาณรบกวนมีค่า SNR = 10, 20 และ 30 dB	53
- ผลการทดสอบที่ 4.4 กรณีเปรียบเทียบการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์วิธีบีเอ็มฟอร์มเมอร์ ในสัญญาณช่วงที่ต่างกัน	57
4.4 การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น	61
4.4.1 วิธีการประมาณพหุระเชิงเส้นจาก Levinson Algorithm	61
- ผลการทดสอบที่ 4.5 กรณีเปรียบเทียบการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์วิธีการประมาณพหุระเชิงเส้นจาก Levinson Algorithm	61
- ผลการทดสอบที่ 4.6 กรณีเปรียบเทียบการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์วิธีการประมาณพหุระเชิงเส้นจาก Levinson Algorithm ที่สายอากาศ $m = 8, 16$ และ 24 ชุด	67
- ผลการทดสอบที่ 4.7 กรณีเปรียบเทียบการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์วิธีการประมาณพหุระเชิงเส้นจาก Levinson Algorithm ที่สัญญาณรบกวนมีค่า SNR = 10, 20 และ 30 dB	71
- ผลการทดสอบที่ 4.8 กรณีเปรียบเทียบการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์วิธีการประมาณพหุระเชิงเส้นจาก Levinson Algorithm ในช่วงสัญญาณที่ต่างกัน	75
- ผลการทดสอบที่ 4.9 กรณีเปรียบเทียบการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์วิธีการประมาณพหุระเชิงเส้นจาก Levinson Algorithm ทาค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 3, 5 และ 7	86
4.4.2 วิธีการประมาณพหุระเชิงเส้นจาก Burg Algorithm	96
- ผลการทดสอบที่ 4.10 กรณีเปรียบเทียบการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์วิธีการประมาณพหุระเชิงเส้นจาก Burg Algorithm	96
- ผลการทดสอบที่ 4.11 กรณีเปรียบเทียบการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์วิธีการประมาณพหุระเชิงเส้นจาก Burg Algorithm ที่สายอากาศ $m = 8, 16$ และ 24 ชุด	102

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
- ผลการทดสอบที่ 4.12 กรณีเปรียบเทียบการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์วิธีการประมาณพันธะเชิงเส้นจาก Burg Algorithm ที่สัญญาณรบกวนมีค่า SNR = 10, 20 และ 30 dB	106
- ผลการทดสอบที่ 4.13 กรณีเปรียบเทียบการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์วิธีการประมาณพันธะเชิงเส้นจาก Burg Algorithm ในช่วงสัญญาณที่ต่างกัน	110
- ผลการทดสอบที่ 4.14 กรณีเปรียบเทียบการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์วิธีการประมาณพันธะเชิงเส้นจาก Burg Algorithm ทาค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 3, 5 และ 7	117
4.5 การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต	123
- ผลการทดสอบที่ 4.15 กรณีเปรียบเทียบการประมาณหาความถี่ของสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์วิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต	123
- ผลการทดสอบที่ 4.16 กรณีเปรียบเทียบการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์วิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต	127
- ผลการทดสอบที่ 4.17 กรณีเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์วิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต	136
4.6 ผลการทดสอบที่สังเกตได้จากการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ	143
4.6.1 ผลการทดสอบที่สังเกตได้จากวิธีบีมฟอร์มเมอร์	144
4.6.2 ผลการทดสอบที่สังเกตได้จากวิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น	148
4.6.2.1 ผลการทดสอบที่สังเกตได้จาก Levinson Algorithm	148
4.6.2.2 ผลการทดสอบที่สังเกตได้จาก Burg Algorithm	155
4.6.3 ผลการทดสอบที่สังเกตได้จากวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต	161
5. ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ	164
5.1 ข้อสรุป	164
5.2 การนำไปใช้งาน	168
5.3 ข้อเสนอแนะ	169

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
รายการอ้างอิง	170
ภาคผนวก โปรแกรมจำลองบนเครื่องคอมพิวเตอร์	171
ภาคผนวก ก แบบจำลองของแหล่งกำเนิดสัญญาณ	172
ภาคผนวก ข วิธีการประมาณค่าทิศทางมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ	186
ภาคผนวก ค โปรแกรม Correlation Estimate	193
ภาคผนวก ง โปรแกรม Levinson Algorithm	194
ภาคผนวก จ โปรแกรม Burg Algorithm	195
ประวัติผู้เขียน	197

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1.1	ระยะเวลากำหนดการวิจัย	5
ตารางที่ 2.1	การเปรียบเทียบกันระหว่างข้อมูลของอนุกรมเวลา (time series) กับ ข้อมูลการ snapshot จากสายอากาศ (space series)	20
ตารางที่ 3.1	แสดงค่า correlation coefficient ของสัญญาณทางทหารกับแบบจำลองสัญญาณ พัลส์ไซนูซอยด์	37
ตารางที่ 4.1a	การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีบีมฟอร์มเมอร์ กลุ่มที่ 1 กรณีที่ 1 มุมทิศต่ำมีค่าเป็นบวก	47
ตารางที่ 4.1b	การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีบีมฟอร์มเมอร์ กลุ่มที่ 1 กรณีที่ 2 มุมทิศปานกลางมีค่าเป็นบวก	47
ตารางที่ 4.1c	การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีบีมฟอร์มเมอร์ กลุ่มที่ 1 กรณีที่ 3 มุมทิศสูงมีค่าเป็นบวก	47
ตารางที่ 4.1d	การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีบีมฟอร์มเมอร์ กลุ่มที่ 2 กรณีที่ 1 มุมทิศต่ำมีค่าเป็นลบ	48
ตารางที่ 4.1e	การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีบีมฟอร์มเมอร์ กลุ่มที่ 2 กรณีที่ 2 มุมทิศปานกลางมีค่าเป็นลบ	48
ตารางที่ 4.1f	การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีบีมฟอร์มเมอร์ กลุ่มที่ 2 กรณีที่ 3 มุมทิศสูงมีค่าเป็นลบ	48
ตารางที่ 4.2a	การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น เมื่อใช้ Levinson Algorithm กลุ่มที่ 1 กรณีที่ 1 มุมทิศต่ำมีค่าเป็นบวก	65
ตารางที่ 4.2b	การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น เมื่อใช้ Levinson Algorithm กลุ่มที่ 1 กรณีที่ 2 มุมทิศปานกลางมีค่าเป็นบวก	65
ตารางที่ 4.2c	การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น เมื่อใช้ Levinson Algorithm กลุ่มที่ 1 กรณีที่ 3 มุมทิศสูงมีค่าเป็นบวก	65
ตารางที่ 4.2d	การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น เมื่อใช้ Levinson Algorithm กลุ่มที่ 2 กรณีที่ 1 มุมทิศต่ำมีค่าเป็นลบ	66
ตารางที่ 4.2e	การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น เมื่อใช้ Levinson Algorithm กลุ่มที่ 2 กรณีที่ 2 มุมทิศปานกลางมีค่าเป็นลบ	66
ตารางที่ 4.2f	การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น เมื่อใช้ Levinson Algorithm กลุ่มที่ 2 กรณีที่ 3 มุมทิศสูงมีค่าเป็นลบ	66

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.5c การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต แบบที่ 2 กลุ่มที่ 1 กรณีที่ 3 มุมทิศสูงมีค่าเป็นบวก	134
ตารางที่ 4.5d การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต แบบที่ 2 กลุ่มที่ 2 กรณีที่ 1 มุมทิศต่ำมีค่าเป็นลบ	135
ตารางที่ 4.5e การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต แบบที่ 2 กลุ่มที่ 2 กรณีที่ 2 มุมทิศปานกลางมีค่าเป็นลบ	135
ตารางที่ 4.5f การประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต แบบที่ 2 กลุ่มที่ 2 กรณีที่ 3 มุมทิศสูงมีค่าเป็นลบ	135
ตารางที่ 5.1 ลำดับความแม่นยำในการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ของทุกวิธีการ	166

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 การหาตำแหน่งที่ตั้งแหล่งกำเนิดสัญญาณจากการวัดมุมทิศโดยใช้ วิธีการสักรัดกลับ (Triangulation)	8
รูปที่ 2.2 ทิศทางของสัญญาณที่มาจากกระแทก สายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น (Uniform Linear Array) ในทิศทาง θ_i	13
รูปที่ 2.3 ขั้นตอนกรรมวิธีของ Levinson Algorithm สำหรับนำมาใช้ในการประมาณ ค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ	23
รูปที่ 2.4 ขั้นตอนกรรมวิธีของ Burg Algorithm สำหรับนำมาใช้ในการประมาณ ค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ	25
รูปที่ 3.1 ตัวอย่างรูปของสัญญาณทางทหารที่ได้จากการทดลองยิงปืนใหญ่สนาม ขนาด 155 มิลลิเมตร	29
รูปที่ 3.2 รูปแบบจำลองของสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 1	33
รูปที่ 3.3 รูปแบบจำลองของสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 2	34
รูปที่ 3.4 รูปแบบจำลองของสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 1 ทำการชักตัวอย่าง ในช่วงสัญญาณที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ 1 - 100 snapshot ที่สัญญาณรบกวนมีค่า SNR (a) 30 dB, (b) 20 dB และ (c) 10 dB	35
รูปที่ 3.5 รูปแบบจำลองของสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ ลักษณะที่ 2 ทำการชักตัวอย่าง ในช่วงสัญญาณที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ 1 - 100 snapshot ที่สัญญาณรบกวนมีค่า SNR (a) 30 dB, (b) 20 dB และ (c) 10 dB	36
รูปที่ 4.1 กรณีที่นำมาใช้ทดลองเปรียบเทียบการประมาณค่าทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ..	42
รูปที่ 4.2 สเปกตรัมเปรียบเทียบการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณของสัญญาณไซนูซอยด์ และสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ วิธีบีมฟอร์มเมอร์ที่ $DOA = 5^\circ$	44
รูปที่ 4.3 สเปกตรัมเปรียบเทียบการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณของสัญญาณไซนูซอยด์ และสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ วิธีบีมฟอร์มเมอร์ที่ $DOA = -5^\circ$	45
รูปที่ 4.4 สเปกตรัมเปรียบเทียบการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณของสัญญาณไซนูซอยด์ และสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ วิธีบีมฟอร์มเมอร์ที่ $DOA = 35^\circ$	46
รูปที่ 4.5 สเปกตรัมเปรียบเทียบการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณ วิธีบีมฟอร์มเมอร์ จำนวนสายอากาศมีค่า $m = 8, 16$ และ 24 ชุด	51

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.6	ค่าความคลาดเคลื่อนการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณ วิธีบีมฟอร์มเมอร์ ที่สายอากาศมีค่า (a) $m = 8$ ชุด, (b) $m = 16$ ชุด และ (c) $m = 24$ ชุด 52
รูปที่ 4.7	สเปกตรัมเปรียบเทียบการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณ วิธีบีมฟอร์มเมอร์ สัญญาณรบกวนมีค่า SNR = 10, 20 และ 30 dB 55
รูปที่ 4.8	ค่าความคลาดเคลื่อนการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณ วิธีบีมฟอร์มเมอร์ สัญญาณรบกวนมีค่า SNR (a) 30 dB, (b) 20 dB และ (c) 10 dB 56
รูปที่ 4.9	ค่าความคลาดเคลื่อนการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณ วิธีบีมฟอร์มเมอร์ จำนวนสายอากาศ $m = 8$ ชุด สัญญาณรบกวนมีค่า SNR (a) 30 dB, (b) 20 dB และ (c) 10 dB ที่มุมทิศ 5 องศา 58
รูปที่ 4.10	ค่าความคลาดเคลื่อนการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณ วิธีบีมฟอร์มเมอร์ จำนวนสายอากาศ $m = 16$ ชุด สัญญาณรบกวนมีค่า SNR (a) 30 dB, (b) 20 dB และ (c) 10 dB ที่มุมทิศ 5 องศา 59
รูปที่ 4.11	ค่าความคลาดเคลื่อนการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณ วิธีบีมฟอร์มเมอร์ จำนวนสายอากาศ $m = 24$ ชุด สัญญาณรบกวนมีค่า SNR (a) 30 dB, (b) 20 dB และ (c) 10 dB ที่มุมทิศ 5 องศา 60
รูปที่ 4.12	สเปกตรัมเปรียบเทียบการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณของสัญญาณไซนูซอยด์ และสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ วิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น เมื่อใช้ Levinson Algorithm ทาค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 4 ที่ $DOA = 5^\circ$ 62
รูปที่ 4.13	สเปกตรัมเปรียบเทียบการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณของสัญญาณไซนูซอยด์ และสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ วิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น เมื่อใช้ Levinson Algorithm ทาค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 4 ที่ $DOA = -5^\circ$ 63
รูปที่ 4.14	สเปกตรัมเปรียบเทียบการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณของสัญญาณไซนูซอยด์ และสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ วิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น เมื่อใช้ Levinson Algorithm ทาค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 4 ที่ $DOA = 35^\circ$ 64
รูปที่ 4.15	สเปกตรัมเปรียบเทียบการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น จาก Levinson Algorithm อันดับที่ 4 จำนวนสายอากาศมีค่า $m = 8, 16$ และ 24 ชุด 69
รูปที่ 4.16	ค่าความคลาดเคลื่อนการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพันธะเชิงเส้น จาก Levinson Algorithm ที่สายอากาศมีค่า (a) $m = 8$ ชุด, (b) $m = 16$ ชุด และ (c) $m = 24$ ชุด 70

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.17	สเปกตรัมเปรียบเทียบการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น จาก Levinson Algorithm สัญญาณรบกวนมีค่า SNR = 10, 20 และ 30 dB 73
รูปที่ 4.18	ค่าความคลาดเคลื่อนการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น เมื่อใช้ Levinson Algorithm สัญญาณรบกวนมีค่า SNR (a) 30 dB, (b) 20 dB และ (c) 10 dB 74
รูปที่ 4.19	สเปกตรัมเปรียบเทียบการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น แบบที่ 1 จาก Levinson Algorithm ทดค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 4 เมื่อ N = 20 snapshot ที่ $DOA = 5^\circ$ 77
รูปที่ 4.20	สเปกตรัมเปรียบเทียบการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น แบบที่ 2 จาก Levinson Algorithm เมื่อ N = 20 snapshot 79
รูปที่ 4.21	ค่าความคลาดเคลื่อนการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น แบบที่ 1 เมื่อใช้ Levinson Algorithm จำนวนสายอากาศ $m = 8$ ชุด สัญญาณรบกวน มีค่า SNR (a) 30 dB, (b) 20 dB และ (c) 10 dB ที่ $DOA = 5^\circ$ 80
รูปที่ 4.22	ค่าความคลาดเคลื่อนการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น แบบที่ 1 เมื่อใช้ Levinson Algorithm จำนวนสายอากาศ $m = 16$ ชุด สัญญาณรบกวน มีค่า SNR (a) 30 dB, (b) 20 dB และ (c) 10 dB ที่ $DOA = 5^\circ$ 81
รูปที่ 4.23	ค่าความคลาดเคลื่อนการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น แบบที่ 1 เมื่อใช้ Levinson Algorithm จำนวนสายอากาศ $m = 24$ ชุด สัญญาณรบกวน มีค่า SNR (a) 30 dB, (b) 20 dB และ (c) 10 dB ที่ $DOA = 5^\circ$ 82
รูปที่ 4.24	ค่าความคลาดเคลื่อนการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น แบบที่ 2 เมื่อใช้ Levinson Algorithm จำนวนสายอากาศ $m = 8$ ชุด สัญญาณรบกวน มีค่า SNR (a) 30 dB, (b) 20 dB และ (c) 10 dB ที่ $DOA = 5^\circ$ 83
รูปที่ 4.25	ค่าความคลาดเคลื่อนการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น แบบที่ 2 เมื่อใช้ Levinson Algorithm จำนวนสายอากาศ $m = 16$ ชุด สัญญาณรบกวน มีค่า SNR (a) 30 dB, (b) 20 dB และ (c) 10 dB ที่ $DOA = 5^\circ$ 84
รูปที่ 4.26	ค่าความคลาดเคลื่อนการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น แบบที่ 2 เมื่อใช้ Levinson Algorithm จำนวนสายอากาศ $m = 24$ ชุด สัญญาณรบกวน มีค่า SNR (a) 30 dB, (b) 20 dB และ (c) 10 dB ที่ $DOA = 5^\circ$ 85

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.27	สเปกตรัมเปรียบเทียบการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้นแบบที่ 1 จาก Levinson Algorithm ทาค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ $p = 3, 5$ และ 7 89
รูปที่ 4.28	สเปกตรัมเปรียบเทียบการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้นแบบที่ 2 จาก Levinson Algorithm ทาค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ $p = 3, 5$ และ 7 91
รูปที่ 4.29	ค่าความคลาดเคลื่อนการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้นแบบที่ 1 เมื่อใช้ Levinson Algorithm ทาค่าสัมประสิทธิ์ (a) $p = 3$, (b) $p = 5$ และ (c) $p = 7$ 92
รูปที่ 4.30	ค่าความคลาดเคลื่อนการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้นแบบที่ 2 เมื่อใช้ Levinson Algorithm ทาค่าสัมประสิทธิ์ (a) $p = 3$, (b) $p = 5$ และ (c) $p = 7$ 93
รูปที่ 4.31	ค่าความคลาดเคลื่อนการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้นแบบที่ 1 เมื่อใช้ Levinson Algorithm ช่วง 1 - 100 snapshot ทาค่าสัมประสิทธิ์ (a) $p = 3$, (b) $p = 5$ และ (c) $p = 7$ 94
รูปที่ 4.32	ค่าความคลาดเคลื่อนการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้นแบบที่ 2 เมื่อใช้ Levinson Algorithm ช่วง 1 - 100 snapshot ทาค่าสัมประสิทธิ์ (a) $p = 3$, (b) $p = 5$ และ (c) $p = 7$ 95
รูปที่ 4.33	สเปกตรัมเปรียบเทียบการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณของสัญญาณไซนูซอยด์และสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ วิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น ที่ $DOA = 5^\circ$ เมื่อใช้ Burg Algorithm ทาค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 4 97
รูปที่ 4.34	สเปกตรัมเปรียบเทียบการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณของสัญญาณไซนูซอยด์และสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ วิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น ที่ $DOA = -5^\circ$ เมื่อใช้ Burg Algorithm ทาค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 4 98
รูปที่ 4.35	สเปกตรัมเปรียบเทียบการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณของสัญญาณไซนูซอยด์และสัญญาณพัลส์ไซนูซอยด์ วิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น ที่ $DOA = 35^\circ$ เมื่อใช้ Burg Algorithm ทาค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ 4 99
รูปที่ 4.36	สเปกตรัมเปรียบเทียบการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น จาก Burg Algorithm อันดับที่ 4 จำนวนสายอากาศมีค่า $m = 8, 16$ และ 24 ชุด 104
รูปที่ 4.37	ค่าความคลาดเคลื่อนการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น จาก Burg Algorithm ที่สายอากาศมีค่า (a) $m = 8$ ชุด, (b) $m = 16$ ชุด และ (c) $m = 24$ ชุด 105

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.38	สเปกตรัมเปรียบเทียบการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น จาก Burg Algorithm สัญญาณรบกวนมีค่า SNR = 10, 20 และ 30 dB 108
รูปที่ 4.39	ค่าความคลาดเคลื่อนการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น เมื่อใช้ Burg Algorithm สัญญาณรบกวนมีค่า SNR (a) 30 dB, (b) 20 dB และ (c) 10 dB 109
รูปที่ 4.40	สเปกตรัมเปรียบเทียบการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น จาก Burg Algorithm เมื่อ N = 20 snapshot 113
รูปที่ 4.41	ค่าความคลาดเคลื่อนการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น เมื่อใช้ Burg Algorithm จำนวนสายอากาศ m = 8 ชุด สัญญาณรบกวนมีค่า SNR (a) 30 dB, (b) 20 dB และ (c) 10 dB ที่มุมทิศ 5 องศา 114
รูปที่ 4.42	ค่าความคลาดเคลื่อนการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น เมื่อใช้ Burg Algorithm จำนวนสายอากาศ m = 16 ชุด สัญญาณรบกวนมีค่า SNR (a) 30 dB, (b) 20 dB และ (c) 10 dB ที่มุมทิศ 5 องศา 115
รูปที่ 4.43	ค่าความคลาดเคลื่อนการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น เมื่อใช้ Burg Algorithm จำนวนสายอากาศ m = 24 ชุด สัญญาณรบกวนมีค่า SNR (a) 30 dB, (b) 20 dB และ (c) 10 dB ที่มุมทิศ 5 องศา 116
รูปที่ 4.44	สเปกตรัมเปรียบเทียบการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น จาก Burg Algorithm ทาค่าสัมประสิทธิ์อันดับที่ p = 3, 5 และ 7 120
รูปที่ 4.45	ค่าความคลาดเคลื่อนการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น เมื่อใช้ Burg Algorithm ทาค่าสัมประสิทธิ์ (a) p = 3, (b) p = 5 และ (c) p = 7 121
รูปที่ 4.46	ค่าความคลาดเคลื่อนการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีการประมาณพหุระเชิงเส้น เมื่อใช้ Burg Algorithm ช่วง 1 - 100 snapshot ทาค่าสัมประสิทธิ์ (a) p = 3, (b) p = 5 และ (c) p = 7 122
รูปที่ 4.47	การเปรียบเทียบการประมาณหาความถี่ของสัญญาณไซน์ซออยด์ วิธีผลการแปลงฮิลเบิร์ต (a) สัญญาณไซน์ซออยด์ ที่ SNR = 30 dB , (b) วิธีผลการแปลงฮิลเบิร์ต 124
รูปที่ 4.48	การเปรียบเทียบการประมาณหาความถี่ของสัญญาณพัลส์ไซน์ซออยด์ลักษณะที่ 1 วิธีผลการแปลงฮิลเบิร์ต (a) สัญญาณพัลส์ไซน์ซออยด์ลักษณะที่ 1 ที่ SNR = 30 dB , (b) วิธีผลการแปลงฮิลเบิร์ต 125

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.49 การเปรียบเทียบการประมาณหาความถี่ของสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ลักษณะที่ 2 วิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต (a) สัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ลักษณะที่ 2 ที่ SNR = 30 dB , (b) วิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต	126
รูปที่ 4.50 การเปรียบเทียบการประมาณค่าทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณไชนูซอยด์ วิธีผลการแปลงฮิลแบร์ตที่มุมทิศ $DOA = 5^\circ$ (a) สัญญาณไชนูซอยด์ ที่ SNR = 50 dB , (b) วิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต	129
รูปที่ 4.51 การเปรียบเทียบการประมาณค่าทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ลักษณะที่ 1 วิธีผลการแปลงฮิลแบร์ตที่มุมทิศ $DOA = 5^\circ$ (a) สัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ลักษณะที่ 1 ที่ SNR = 50 dB , (b) วิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต	130
รูปที่ 4.52 การเปรียบเทียบการประมาณค่าทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ลักษณะที่ 2 วิธีผลการแปลงฮิลแบร์ตที่มุมทิศ $DOA = 5^\circ$ (a) สัญญาณพัลส์ไชนูซอยด์ลักษณะที่ 2 ที่ SNR = 50 dB , (b) วิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต	131
รูปที่ 4.53 ค่าความคลาดเคลื่อนการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต แบบที่ 1 ที่สายอากาศ $m = 8$ ชุด สัญญาณรบกวนมีค่า SNR (a) 30 dB, (b) 20 dB และ (c) 10 dB	137
รูปที่ 4.54 ค่าความคลาดเคลื่อนการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต แบบที่ 1 ที่สายอากาศ $m = 16$ ชุด สัญญาณรบกวนมีค่า SNR (a) 30 dB, (b) 20 dB และ (c) 10 dB	138
รูปที่ 4.55 ค่าความคลาดเคลื่อนการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต แบบที่ 1 ที่สายอากาศ $m = 24$ ชุด สัญญาณรบกวนมีค่า SNR (a) 30 dB, (b) 20 dB และ (c) 10 dB	139
รูปที่ 4.56 ค่าความคลาดเคลื่อนการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต แบบที่ 2 ที่สายอากาศ $m = 8$ ชุด สัญญาณรบกวนมีค่า SNR (a) 30 dB, (b) 20 dB และ (c) 10 dB	140
รูปที่ 4.57 ค่าความคลาดเคลื่อนการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต แบบที่ 2 ที่สายอากาศ $m = 16$ ชุด สัญญาณรบกวนมีค่า SNR (a) 30 dB, (b) 20 dB และ (c) 10 dB	141
รูปที่ 4.58 ค่าความคลาดเคลื่อนการหาทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณวิธีผลการแปลงฮิลแบร์ต แบบที่ 2 ที่สายอากาศ $m = 24$ ชุด สัญญาณรบกวนมีค่า SNR (a) 30 dB, (b) 20 dB และ (c) 10 dB	142

บัญชีคำศัพท์

สงครามอิเล็กทรอนิกส์	Electronic Warfare ย่อว่า EW
มาตรการสนับสนุนสงครามอิเล็กทรอนิกส์	Electronic Warfare Support Measure ย่อว่า ESM
มาตรการต่อต้านสงครามอิเล็กทรอนิกส์	Electronic Counter Measures ย่อว่า ECM
มาตรการตอบโต้การต่อต้านสงครามอิเล็กทรอนิกส์	Electronic Counter Counter Measures ย่อว่า ECCM
ระบบวิทยุค้นหาทิศทาง	Radio Direction Finding System
การประมาณที่ตั้งแหล่งกำเนิดสัญญาณจากการวัดมุมทิศทาง	Bearing Angle Measurements
วิธีการเล็งสกัดกลับ	Triangulation
ตัวหาทิศทาง	Direction Finder ย่อว่า DF
ทิศทางการมาถึงของแหล่งกำเนิดสัญญาณ	Direction Of Arrival ย่อว่า DOA
เส้นมุมทิศทาง	Line of Bearing ย่อว่า LOB
สภาพเจาะจงทิศทางสูง	High Directivity
แบบรูปการแผ่พลังงาน	radiation pattern
มาตรชี้ทิศทาง	goniometer
ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์	Doppler Effect
เครื่องมือวัดใช้หลักการแทรกสอด	Interferometer
ผลต่างเฟส	phase difference
อัตสหสัมพันธ์	Auto correlation
สหสัมพันธ์ข้าม	Cross correlation
ผลการแปลงฟูริเยร์	Fourier Transform ย่อว่า FFT
สายอากาศแถวลำดับ	Antenna Array
วิธีการประมาณค่าเวลาประวิง	Delay Time Estimation Method
วิธีบีมฟอร์มเมอร์	Beamformer Method ย่อว่า BF
วิธีการประมาณพหุเชิงเส้น	Linear Prediction Method ย่อว่า LP
วิธีผลการแปลงฮิลเบิร์ต	Hilbert Transform Method ย่อว่า HT
แถวลำดับเชิงเส้นสม่ำเสมอ	Uniform Linear Array ย่อว่า ULA

สัญญาณพัลส์ไซน์ชอยด์	Pulse Sinusoid Signal
การวิเคราะห์สเปกตรัม	spectrum analysis
การวิเคราะห์อนุกรมเวลา	time series analysis
ค่าสัมประสิทธิ์ของการประมาณพหุเชิงเส้น	Linear Prediction Coefficient
ค่าความผิดพลาดในการประมาณ	prediction error
อัลกอริทึม	algorithm
สัญญาณวิเคราะห์	analytic signal
แอมพลิจูดขณะเวลาหนึ่ง	instantaneous amplitude
เฟสขณะเวลาหนึ่ง	instantaneous phase
ความถี่ขณะเวลาหนึ่ง	instantaneous frequency
ความถี่เชิงมุมขณะเวลาหนึ่ง	instantaneous angular frequency
อนุพันธ์เวลา	time derivative
ความถี่ศูนย์กลาง	center frequency
เอนVELOPE สัญญาณ	envelope signal
การลดทอน	attenuation
การแจกแจงแบบเกาส์	gaussian distribution
อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน	signal to noise ratio ย่อว่า SNR