

วิทยานิพนธ์การวิจัยเรื่อง CMA ในอาร์เรย์
ที่มีการปรับค่าที่เริ่มต้นด้วยวิธี
การสังเคราะห์แบบดิจิทัล

CMA ADAPTIVE ARRAY ANTENNA WITH DIGITAL BEAM
SYNTHESIS-BASED INITIALIZATION

ธนวุฒิ ตันติโสภณารักษ์

TANAWUT TANTISOPHARAK

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามแผนจัดตั้งศูนย์วิจัยวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552

KRIEL-2000-JUN-M-010-010

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สายอากาศแฉกลำดับปรับตัว CMA โดยใช้การเริ่มต้น
ด้วยการสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัล

CMA ADAPTIVE ARRAY ANTENNA WITH DIGITAL BEAM
SYNTHESIS-BASED INITIALIZATION



T105061

ธนวุฒิ ตันติโสภารักษ์

TANAWUT TANTISOPHARAK

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....105061
วันเดือนปี.....12 พ.ย. 2552

.b.....1216592x
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2552

KMITL-2009-EN-M-010-040

**CMA ADAPTIVE ARRAY ANTENNA WITH DIGITAL BEAM
SYNTHESIS-BASED INITIALIZATION**

TANAWUT TANTISOPHARAK

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2009

KMITL-2009-EN-M-010-040

COPYRIGHT 2009

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ สายอากาศแถวลำดับปรับตัว CMA โดยใช้การเริ่มต้นด้วยการสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัล

Thesis Title CMA Adaptive Array Antenna with Digital Beam Synthesis – Based Initialization

นักศึกษา นายธนวุฒิ ตันติโสภารักษ์

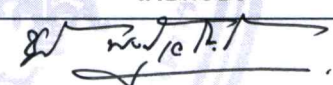
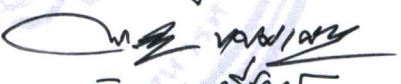
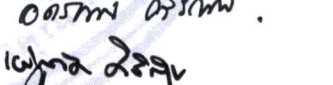

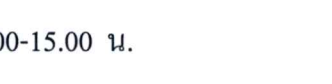
รหัสประจำตัว 48060960

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ศ.ดร.โมไนย ไกรฤกษ์

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2009-EN-M-010-040

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ชวงค์	พงศ์เจริญพาณิชย์	
ดร.พิสิฐ	บุญศรีเมือง	
ผศ.อักรพล	ตรีรัตน์	
ผศ.ดร.เผ่าศักดิ์	ศิริสุข	
ศ.ดร.โมไนย	ไกรฤกษ์	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 24 มีนาคม พ.ศ. 2552 เวลา 13.00-15.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 3 ห้องประชุม 2

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.กอบชัย เตชะหาญ)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 24 มีนาคม พ.ศ. 2552

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สายอากาศแถวลำดับปรับตัว CMA โดยใช้การเริ่มต้นด้วยการสังเคราะห์ลำดับคลื่นทางดิจิทัล
นักศึกษา	นายธนวุฒิ ตันติโสภารักษ์
รหัสนักศึกษา	48060960
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2552
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ศ.ดร. โมไนย ไกรฤกษ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอวิธีการสังเคราะห์ลำดับคลื่นทางดิจิทัลเพื่อใช้เป็นค่าเริ่มต้นของระบบสายอากาศปรับตัวด้วย CMA (Constant Modulus Algorithm) โดยได้เลือกใช้สายอากาศแถวลำดับวงกลม เพื่อให้ระบบสายอากาศปรับตัว CMA สามารถลู่เข้าได้เร็วขึ้น วิธีการสังเคราะห์ลำดับคลื่นทางดิจิทัลนี้ใช้หลักการของการถ่วงน้ำหนักสัญญาณเพื่อสังเคราะห์ลำดับคลื่น โดยใช้สายอากาศปรับลำดับคลื่น 16 ทิศทางเป็นตัวเริ่มต้นระบบเพื่อให้ครอบคลุมทิศทาง 360 องศา ทำให้ไม่ต้องใช้วงจรเลื่อนเฟส ซึ่งจะทำให้ระบบมีความกะทัดรัดและช่วยลดต้นทุนการสร้างได้ วิธีการสังเคราะห์ลำดับคลื่นทางดิจิทัลทำได้โดยการคูณสัญญาณเชิงซ้อนที่รับได้จากสายอากาศแต่ละองค์ประกอบด้วยค่าถ่วงน้ำหนักค่าหนึ่ง ซึ่งทำให้สามารถสังเคราะห์ลำดับคลื่นในทิศทางต่างๆ ได้ แบบรูปการแผ่พลังงานที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับวิธีการใช้วงจรเลื่อนเฟส เพื่อแสดงให้เห็นว่าสามารถใช้วิธีการนี้ทดแทนได้ ซึ่งวิธีการสังเคราะห์ลำดับคลื่นทางดิจิทัลนี้จะถูกนำไปใช้เป็นตัวเริ่มต้นให้กับสายอากาศแถวลำดับปรับตัว CMA สำหรับหลายผู้ใช้งาน โดยในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอเป็นสายอากาศแถวลำดับปรับตัว CMA ในแบบขนาน โดยใช้วิธีการสังเคราะห์ลำดับคลื่นทางดิจิทัลเป็นตัวเริ่มต้นให้กับระบบ คุณสมบัติการลู่เข้าและแนววิถีของอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับสายอากาศแถวลำดับปรับตัว CMA โดยไม่มีการปรับลำดับคลื่น เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติและประสิทธิภาพของสายอากาศแถวลำดับปรับตัวที่ได้นำเสนอ

Thesis Title	CMA Adaptive Array Antenna with Digital Beam Synthesis- Based Initialization
Student	Mr. Tanawut Tantisoparak
Student ID.	48060960
Degree	Master of Engineering
Program	Telecommunications Engineering
Year	2009
Thesis Advisor	Prof. Dr. Monai Krairiksh

ABSTRACT

This thesis presents a technique based on digital beam synthesis which can be used to initial CMA to improve its convergence property. The antenna which is exploited in this thesis is the circular array antenna. The technique utilizes the concept of weighting signals in order to synthesize beams. The sixteen beams in different directions are chosen to initial CMA. These beams can cover 360° in the specific area. This technique can discard RF phase shifters by introducing the technique of digital beam synthesis. It can be referred as the cost effective solution. In the technique, the complex signals received by each antenna element are multiplied by fixed weights. The technique can also synthesize beams in any direction. The antenna patterns are shown to validate the proposed techniques.

Furthermore, this thesis presents the parallel multistage CM array initialization by using the digital beam synthesis. The convergence property and signal-to-interference plus noise ratio (SINR) are shown to compare properties and performance of the proposed system with the conventional system.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดี ด้วยความอนุเคราะห์เป็นอย่างยิ่งจากท่าน ศ.ดร.โมไนย ไกรฤกษ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ในการให้คำแนะนำ และคำปรึกษา ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้ง และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบหัวข้อและโครงร่างวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ให้คำแนะนำ ตลอดจนข้อชี้แนะ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบคุณ ดร.เอกรัตน์ บุญญา ที่ให้คำแนะนำและคำปรึกษาอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่ ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ คุณจิรัฏฐ์ เหมือนชู คุณภพสุข สุขสำราญ คุณธัญวัฒน์ ลิ้มปิติ และสมาชิก ห้องปฏิบัติการการสื่อสารไร้สายทุกท่านที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำต่างๆ

ขอขอบคุณ คุณจุฬาลักษณ์ ตลับนาค ที่ช่วยตรวจทาน แก้ไขข้อผิดพลาด และให้กำลังใจ เสมอมา

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็น กำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วง ด้วยดี

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ตลอดจนครูบาอาจารย์ผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้า

ธนวุฒิ ตันติโสภารักษ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	6
2.1 บทนำ.....	6
2.2 สายอากาศแฉะลำดับวงกลมปรับเฟสได้.....	6
2.3 การปรับลำคลื่นของสายอากาศแฉะลำดับวงกลม.....	9
2.3.1 การป้อนเฟสกระตุ้นสายอากาศแต่ละองค์ประกอบ.....	9
2.3.2 สายอากาศแฉะลำดับปรับเฟสสวิทช์ลำคลื่นได้.....	16
2.4 อัลกอริทึมการปรับตัวแบบ Constant Modulus Algorithm (CMA).....	20
2.5 สายอากาศแฉะลำดับปรับเฟสปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA.....	24
บทที่ 3 สายอากาศแฉะลำดับปรับตัว CMA โดยใช้การสังเคราะห์ลำคลื่น ทางดิจิทัลเป็นตัวเริ่มต้น.....	26
3.1 บทนำ.....	26
3.2 การสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัล.....	26
3.3 สายอากาศแฉะลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA โดยใช้การสังเคราะห์ลำคลื่น ทางดิจิทัลเป็นตัวเริ่มต้น.....	35
3.3.1 การจำลองระบบ.....	38

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.2 การปรับลำดับเริ่มต้นของระบบสายอากาศแถวลำดับปรับตัว ด้วยอัลกอริทึม CMA.....	46
3.3.3 ผลกระทบของค่าขนาดของระดับขั้น (step-size).....	52
3.4 สรุป.....	55
บทที่ 4 สายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA สำหรับหลายผู้ใช้งานโดยใช้ การสังเคราะห์ลำดับเส้นทางดิจิทัลเป็นตัวเริ่มต้น.....	56
4.1 บทนำ.....	56
4.2 สายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA สำหรับหลายผู้ใช้งาน.....	56
4.3 สายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA สำหรับหลายผู้ใช้งานแบบขนาน โดยใช้การสังเคราะห์ลำดับเส้นทางดิจิทัลเป็นตัวเริ่มต้น.....	59
4.3.1 กรณีไม่มีการปรับลำดับเริ่มต้น.....	60
4.3.2 กรณีปรับลำดับเริ่มต้นของแต่ละภาคไปในทิศทางที่แตกต่างกัน.....	65
4.3.2.1 กรณีแรก.....	66
4.3.2.2 กรณีที่สอง.....	72
4.4 สรุป.....	79
บทที่ 5 การสร้างและการทดสอบ.....	81
5.1 บทนำ.....	81
5.2 ผลกระทบของความยาวค่าของสายอากาศแถวลำดับปรับตัว CMA โดยใช้ การสังเคราะห์ลำดับเส้นทางดิจิทัลเป็นตัวเริ่มต้น.....	81
5.2.1 การแสดงผลแบบจุดลอยตัวและการแสดงผลแบบจุดตรึง.....	81
5.2.1.1 การแสดงผลตัวเลขแบบจุดลอยตัว.....	81
5.2.1.2 การแสดงผลตัวเลขแบบจุดตรึง.....	82
5.2.2 ผลกระทบของความยาวค่าที่มีต่อระบบ.....	83
5.2.2.1 ความยาวค่าของค่าถ่วงน้ำหนักในการสังเคราะห์ลำดับ ทางดิจิทัล.....	83
5.2.2.2 ความยาวค่าของค่าถ่วงน้ำหนักในอัลกอริทึมการปรับตัว CMA.....	85

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2.2.3 ผลกระทบของค่าคงที่ขนาดของระดับขั้น (step-size) ที่มีต่อระบบ...88	88
5.3 การสร้างและทดสอบระบบ.....90	90
5.3.1 การทดสอบสายอากาศ.....91	91
5.3.2 การทดสอบระบบ.....93	93
5.4 สรุป.....98	98
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....100	100
6.1 สรุปผลการวิจัย.....100	100
6.2 แนวทางปรับปรุงงานวิจัย.....102	102
เอกสารอ้างอิง.....103	103
ภาคผนวก.....108	108
ภาคผนวก ก. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....109	109
ประวัติผู้เขียน.....115	115

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติของสายอากาศแถวลำดับเมื่อทำการปรับค่ารัศมีแถวลำดับ.....	10
2.2 ค่าเฟสสำหรับกระตุ้นสายอากาศแต่ละองค์ประกอบ.....	13
2.3 ค่าเฟสสำหรับกระตุ้นสายอากาศแต่ละองค์ประกอบของสายอากาศปรับลำคลื่น 16 ทิศทาง.....	15
2.4 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับปรับเฟสด้วยองค์ประกอบ สวิตซ์ลำคลื่นได้.....	19
3.1 ค่าถ่วงน้ำหนักของสายอากาศแต่ละองค์ประกอบเพื่อใช้ในการสังเคราะห์ลำคลื่น.....	27
3.2 ค่าถ่วงน้ำหนักของสายอากาศแต่ละองค์ประกอบเพื่อใช้ในการสังเคราะห์ลำคลื่น 16 ทิศทาง.....	30
5.1 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับปรับเฟสด้วยองค์ประกอบ สวิตซ์ลำคลื่นได้ที่ได้จากการทดสอบ.....	91

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 โครงสร้างพื้นฐานของสายอากาศแถวลำดับปรับตัว.....	2
2.1 โครงสร้างทางเรขาคณิตของสายอากาศแถวลำดับวงกลม N องค์ประกอบ.....	6
2.2 โครงสร้างสายอากาศแถวลำดับปรับเฟสลำดับคลื่นเบนราบ.....	10
2.3 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับเมื่อจำนวนองค์ประกอบของสายอากาศเป็น (ก) 2 องค์ประกอบ (ข) 8 องค์ประกอบ.....	12
2.4 แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อป้อนเฟสกระตุ้นสายอากาศแต่ละองค์ประกอบโดยลำดับคลื่นหลักมี ทิศทาง (ก) 45° (ข) 135° (ค) 225° (ง) 315°	13
2.5 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบมุมยกเมื่อป้อนเฟสกระตุ้นสายอากาศแต่ละองค์ประกอบ โดยลำดับคลื่นหลักมีทิศทาง (ก) 45° (ข) 135° (ค) 225° (ง) 315°	14
2.6 แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อป้อนเฟสกระตุ้นสายอากาศแต่ละองค์ประกอบ ตามตารางที่ 2.3.....	16
2.7 โครงสร้างสายอากาศแพทช์เดี่ยวสวิตช์ลำดับได้.....	17
2.8 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแพทช์เดี่ยวสวิตช์ลำดับได้เมื่อสวิตช์ลำดับได้ในทิศทาง (ก) x (ข) y	17
2.9 โครงสร้างของสายอากาศแถวลำดับปรับเฟสด้วยองค์ประกอบสวิตช์ลำดับได้.....	18
2.10 แบบจำลองของระบบปรับตัว.....	20
2.11 ฟังก์ชันการกระจายของ Constant Modulus (CM dispersion function) ในเทอมของสัญญาณ เอาต์พุตในอวกาศ (ก) ในระนาบ 3 มิติ.....	22
(ข) ภาพส่วนขยายในช่วง $y(k) = 0$	23
2.12 โครงสร้างสายอากาศแถวลำดับปรับเฟสปรับตัว CMA.....	24
3.1 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศโดยใช้วงจรเลื่อนเฟสและระบบสังเคราะห์ลำดับเส้นทาง ดิจิทัล โดยทิศทางของลำดับคลื่นหลักชี้ที่มุม 45 องศาในระนาบเอซิมัท.....	27
3.2 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศโดยใช้วงจรเลื่อนเฟสและระบบสังเคราะห์ลำดับเส้นทาง ดิจิทัล โดยทิศทางของลำดับคลื่นหลักชี้ที่มุม 135 องศาในระนาบเอซิมัท.....	28
3.3 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศโดยใช้วงจรเลื่อนเฟสและระบบสังเคราะห์ลำดับเส้นทาง ดิจิทัล โดยทิศทางของลำดับคลื่นหลักชี้ที่มุม 225 องศาในระนาบเอซิมัท.....	28
3.4 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศโดยใช้วงจรเลื่อนเฟสและระบบสังเคราะห์ลำดับเส้นทาง ดิจิทัล โดยทิศทางของลำดับคลื่นหลักชี้ที่มุม 315 องศาในระนาบเอซิมัท.....	29

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.5	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแฉวลำดับโดยใช้ระบบสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัลเป็นตัวปรับลำคลื่น โดยลำคลื่นหลักมีทิศทาง (ก) 22.5° (ข) 45° (ค) 67.5° (ง) 90° 31
3.6	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแฉวลำดับโดยใช้ระบบสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัลเป็นตัวปรับลำคลื่น โดยลำคลื่นหลักมีทิศทาง (ก) 112.5° (ข) 135° (ค) 157.5° (ง) 180° 32
3.7	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแฉวลำดับโดยใช้ระบบสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัลเป็นตัวปรับลำคลื่น โดยลำคลื่นหลักมีทิศทาง (ก) 202.5° (ข) 225° (ค) 247.5° (ง) 270° 33
3.8	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแฉวลำดับโดยใช้ระบบสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัลเป็นตัวปรับลำคลื่น โดยลำคลื่นหลักมีทิศทาง (ก) 292.5° (ข) 315° (ค) 337.5° (ง) 360° 34
3.9	โครงสร้างสายอากาศแฉวลำดับปรับตัว CMA โดยใช้วิธีการสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัลเป็นตัวเริ่มต้น..... 35
3.10	แนววิถีอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวน (SINR) ของ CMA โดยไม่มีสัญญาณรบกวนในระบบ..... 38
3.11	แนววิถีอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวน (SINR) ของ CMA โดยมีสัญญาณรบกวนในระบบ..... 39
3.12	ขนาดของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA โดยใช้การปรับลำคลื่นเป็นตัวเริ่มต้น..... 40
3.13	เฟสของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA โดยใช้การปรับลำคลื่นเป็นตัวเริ่มต้น..... 40
3.14	ขนาดของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA โดยไม่มีการปรับลำคลื่น..... 41
3.15	เฟสของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA โดยไม่มีการปรับลำคลื่น..... 41
3.16	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแฉวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA โดยใช้การปรับลำคลื่นเป็นตัวเริ่มต้น..... 42
3.17	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแฉวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA โดยไม่มีการปรับลำคลื่น..... 43
3.18	แผนภาพกลุ่มดาว (constellation diagram) ของสายอากาศแฉวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA โดยใช้การปรับลำคลื่นเป็นตัวเริ่มต้น หลังการทำซ้ำครั้งที่ (ก) 0 (ข) 500..... 43
3.19	แผนภาพกลุ่มดาว (constellation diagram) ของสายอากาศแฉวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA โดยไม่ใช้การปรับลำคลื่น หลังการทำซ้ำครั้งที่ (ก) 0 (ข) 800..... 44
3.20	โครงสร้างสายอากาศแฉวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA โดย (ก) ระบบที่ใช้วงจรเลื่อนเฟสในการปรับลำคลื่น (ข) ระบบที่ใช้ระบบสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัล (ค) ระบบที่ไม่ใช้การปรับลำคลื่น..... 44

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.21 แนววิถีอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวน (SINR) ของ CMA เมื่อใช้วงจรถ่ายเฟส ระบบสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัล และไม่ใช้การปรับลำคลื่น.....	45
3.22 แนววิถีอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวน (SINR) เฉลี่ยของ CMA เมื่อใช้วงจรถ่ายเฟส ระบบสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัล และไม่ใช้การปรับลำคลื่น.....	46
3.23 แนววิถีอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวน (SINR) ของ CMA ในกรณีแรก เมื่อทิศทางลำคลื่นหลักของลำคลื่นเริ่มต้นมีค่าเป็น 22.5° , 67.5° และ 112.5°	47
3.24 แนววิถีอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวน (SINR) ของ CMA ในกรณีที่สอง เมื่อทิศทางลำคลื่นหลักของลำคลื่นเริ่มต้นมีค่าเป็น 67.5° , 90° และ 112.5°	47
3.25 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแฉวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA ในกรณีแรก โดยลำคลื่นเริ่มต้นมีทิศทางของลำคลื่นหลักเป็น (ก) 22.5° (ข) 67.5° (ค) 112.5°	48
3.26 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแฉวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA ในกรณีที่สอง โดยลำคลื่นเริ่มต้นมีทิศทางของลำคลื่นหลักเป็น (ก) 67.5° (ข) 90° (ค) 112.5°	49
3.27 อัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวน (SINR) ที่ได้จากสายอากาศปรับตัวหลังการทำซ้ำครั้งที่ 2000.....	51
3.28 อัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวน (SINR) ที่ได้จากสายอากาศปรับตัวหลังการทำซ้ำครั้งที่ 20000.....	52
3.29 แนววิถีอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวน (SINR) ของ CMA ที่ค่าขนาดของระดับขั้น (step-size) แตกต่างกัน โดยกำหนดให้อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่า 30 dB.....	53
3.30 แนววิถีอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวน (SINR) ของ CMA ที่ค่าขนาดของระดับขั้น (step-size) แตกต่างกัน โดยกำหนดให้อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่า 20 dB.....	53
3.31 แนววิถีอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวน (SINR) ของ CMA ที่ค่าขนาดของระดับขั้น (step-size) แตกต่างกัน โดยกำหนดให้อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่า 10 dB.....	54
4.1 โครงสร้างของสายอากาศแฉวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA แบบคาสเคด.....	56
4.2 โครงสร้างของสายอากาศแฉวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA แบบคาสเคดในแต่ละภาค.....	57
4.3 โครงสร้างสายอากาศแฉวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA แบบขนาน.....	58

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4 โครงสร้างของสายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA สำหรับหลายผู้ใช้งานแบบขนาน.....	59
4.5 แนววิถีอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวน (SINR) ของ CMA ในแต่ละภาค กรณีที่ไม่มีการปรับลำคลื่น.....	60
4.6 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA สำหรับหลายผู้ใช้งานแบบขนานใน (ก) ภาคที่ 1 (ข) ภาคที่ 2 (ค) ภาคที่ 3 ในกรณีที่ไม่มีการปรับลำคลื่น.....	61
4.7 ขนาดของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA ในภาคที่ 1 ในกรณีไม่มีการปรับลำคลื่นเริ่มต้นให้กับระบบ.....	62
4.8 เฟสของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA ในภาคที่ 1 ในกรณีไม่มีการปรับลำคลื่นเริ่มต้นให้กับระบบ.....	63
4.9 ขนาดของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA ในภาคที่ 2 ในกรณีไม่มีการปรับลำคลื่นเริ่มต้นให้กับระบบ.....	63
4.10 เฟสของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA ในภาคที่ 2 ในกรณีไม่มีการปรับลำคลื่นเริ่มต้นให้กับระบบ.....	64
4.11 ขนาดของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA ในภาคที่ 3 ในกรณีไม่มีการปรับลำคลื่นเริ่มต้นให้กับระบบ.....	64
4.12 เฟสของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA ในภาคที่ 3 ในกรณีไม่มีการปรับลำคลื่นเริ่มต้นให้กับระบบ.....	65
4.13 แนววิถีอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวน (SINR) ของ CMA ในแต่ละภาค ในกรณีที่มีการปรับลำคลื่นกรณีแรก.....	66
4.14 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA สำหรับหลายผู้ใช้งานแบบขนานใน (ก) ภาคที่ 1 (ข) ภาคที่ 2 (ค) ภาคที่ 3 ในกรณีที่มีการปรับลำคลื่นกรณีแรก.....	66
4.15 ขนาดของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA ในภาคที่ 1 ในกรณีที่มีการปรับลำคลื่นกรณีแรก.....	67
4.16 เฟสของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA ในภาคที่ 1 ในกรณีที่มีการปรับลำคลื่นกรณีแรก.....	68
4.17 ขนาดของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA ในภาคที่ 2 ในกรณีที่มีการปรับลำคลื่นกรณีแรก.....	68
4.18 เฟสของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA ในภาคที่ 2 ในกรณีที่มีการปรับลำคลื่นกรณีแรก.....	69
4.19 ขนาดของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA ในภาคที่ 3 ในกรณีที่มีการปรับลำคลื่นกรณีแรก.....	69

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.20 เฟสของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA ในภาคที่ 3 ในกรณีที่มีการปรับค่าคลื่นกรณี่แรก.....	70
4.21 แผนภาพกลุ่มดาว (constellation diagram) ของสัญญาณเอชอาร์ทีที่ได้จากสายอากาศแฉวลำดับปรับเฟสด้วยอัลกอริทึม CMA สำหรับหลายผู้ใช้งานแบบขนานในภาคที่ 1 ในกรณีที่มีการปรับค่าคลื่นกรณี่แรก หลังการทำซ้ำครั้งที่ (ก) 0 (ข) 4000.....	71
4.22 แผนภาพกลุ่มดาว (constellation diagram) ของสัญญาณเอชอาร์ทีที่ได้จากสายอากาศแฉวลำดับปรับเฟสด้วยอัลกอริทึม CMA สำหรับหลายผู้ใช้งานแบบขนานในภาคที่ 2 ในกรณีที่มีการปรับค่าคลื่นกรณี่แรก หลังการทำซ้ำครั้งที่ (ก) 0 (ข) 4000.....	71
4.23 แผนภาพกลุ่มดาว (constellation diagram) ของสัญญาณเอชอาร์ทีที่ได้จากสายอากาศแฉวลำดับปรับเฟสด้วยอัลกอริทึม CMA สำหรับหลายผู้ใช้งานแบบขนานในภาคที่ 3 ในกรณีที่มีการปรับค่าคลื่นกรณี่แรก หลังการทำซ้ำครั้งที่ (ก) 0 (ข) 4000.....	72
4.24 แนววิถีอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวน (SINR) ของ CMA ในแต่ละภาค ในกรณีที่สอง.....	73
4.25 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแฉวลำดับปรับด้วยอัลกอริทึม CMA สำหรับหลายผู้ใช้งานแบบขนานใน (ก) ภาคที่ 1 (ข) ภาคที่ 2 (ค) ภาคที่ 3 ในกรณีที่มีการปรับค่าคลื่นกรณี่ที่สอง.....	74
4.26 ขนาดของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA ในภาคที่ 1 ในกรณีที่มีการปรับค่าคลื่นกรณี่ที่สอง.....	75
4.27 เฟสของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA ในภาคที่ 1 ในกรณีที่มีการปรับค่าคลื่นกรณี่ที่สอง.....	75
4.28 ขนาดของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA ในภาคที่ 2 ในกรณีที่มีการปรับค่าคลื่นกรณี่ที่สอง.....	76
4.29 เฟสของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA ในภาคที่ 2 ในกรณีที่มีการปรับค่าคลื่นกรณี่ที่สอง.....	76
4.30 ขนาดของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA ในภาคที่ 3 ในกรณีที่มีการปรับค่าคลื่นกรณี่ที่สอง.....	77
4.31 เฟสของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA ในภาคที่ 3 ในกรณีที่มีการปรับค่าคลื่นกรณี่ที่สอง.....	77
4.32 แผนภาพกลุ่มดาว (constellation diagram) ของสัญญาณเอชอาร์ทีที่ได้จากสายอากาศแฉวลำดับปรับเฟสด้วยอัลกอริทึม CMA สำหรับหลายผู้ใช้งานแบบขนานในภาคที่ 1 ในกรณีที่มีการปรับค่าคลื่นกรณี่ที่สอง หลังการทำซ้ำครั้งที่ (ก) 0 (ข) 4000.....	78
4.33 แผนภาพกลุ่มดาว (constellation diagram) ของสัญญาณเอชอาร์ทีที่ได้จากสายอากาศแฉวลำดับปรับเฟสด้วยอัลกอริทึม CMA สำหรับหลายผู้ใช้งานแบบขนานในภาคที่ 2 ในกรณีที่มีการปรับค่าคลื่นกรณี่ที่สอง หลังการทำซ้ำครั้งที่ (ก) 0 (ข) 4000.....	78

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.34 แผนภาพกลุ่มดาว (constellation diagram) ของสัญญาณเอทพุตที่ได้จากสายอากาศแถวลำดับปรับเฟสด้วยอัลกอริทึม CMA สำหรับหลายผู้ใช้งานแบบขนานในภาคที่ 3 ในกรณีที่มีการปรับลำดับที่สอง หลังการทำซ้ำครั้งที่ (ก) 0 (ข) 4000.....	79
5.1 โครงสร้างการแสดงผลตัวเลขแบบจุดลอยตัว.....	82
5.2 โครงสร้างการแสดงผลตัวเลขแบบจุดตรึง.....	82
5.3 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่ได้จากการสังเคราะห์ลำดับเส้นทางดิจิทัล โดยใช้ค่าถ่วงน้ำหนักที่มีความยาวค่าเป็น 10, 9, 8 บิต เทียบกับการใช้ค่าถ่วงน้ำหนักแทนค่าแบบจุดลอยตัว.....	83
5.4 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่ได้จากการสังเคราะห์ลำดับเส้นทางดิจิทัล โดยใช้ค่าถ่วงน้ำหนักที่มีความยาวค่าเป็น 8, 7, 6 บิต เทียบกับการใช้ค่าถ่วงน้ำหนักแทนค่าแบบจุดลอยตัว.....	84
5.5 แนววิถีอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวน (SINR) ของ CMA โดยใช้ค่าถ่วงน้ำหนักที่มีความยาวค่าเป็น 12, 10, 8 บิต ตามลำดับ.....	85
5.6 แนววิถีอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวน (SINR) ของ CMA โดยใช้ค่าถ่วงน้ำหนักที่มีความยาวค่าเป็น 8, 6, 4 บิต ตามลำดับ.....	86
5.7 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศหลังการลู่เข้า โดยใช้เวกเตอร์ค่าถ่วงน้ำหนักที่มีความยาวค่าเป็น 12, 10, 8 บิต ตามลำดับ.....	87
5.8 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศหลังการลู่เข้า โดยใช้เวกเตอร์ค่าถ่วงน้ำหนักที่มีความยาวค่าเป็น 8, 6, 4 บิต ตามลำดับ.....	87
5.9 แนววิถีอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวน (SINR) ของ CMA โดยค่าคงที่ขนาดของระดับขั้น (step-size) มีค่า 2^{-14} , 2^{-10} , 2^{-6} และ 2^{-2} ตามลำดับ.....	88
5.10 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศหลังการลู่เข้า โดยค่าคงที่ขนาดของระดับขั้น (step-size) มีค่า 2^{-14} , 2^{-10} , 2^{-6} และ 2^{-2} ตามลำดับ.....	89
5.11 โครงสร้างสายอากาศแถวลำดับปรับด้วยอัลกอริทึม CMA ที่นำมาใช้ในการทดสอบ โดย (ก) ระบบที่ใช้วงจรเลื่อนเฟสในการปรับลำดับ (ข) ระบบที่ใช้การสังเคราะห์ลำดับเส้นทางดิจิทัลเป็นตัวเริ่มต้น.....	90
5.12 แผนภาพกลุ่มดาว (constellation diagram) ที่ได้จากเอทพุตของระบบ CMA หลังการทำซ้ำครั้งที่ 2048 โดย (ก) เอทพุตที่ได้จากระบบที่ใช้วงจรเลื่อนเฟสในการปรับลำดับเริ่มต้น (ข) เอทพุตที่ได้จากระบบที่ใช้การสังเคราะห์ลำดับเส้นทางดิจิทัลเป็นตัวเริ่มต้น.....	94

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.13 ค่าจริงของค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้จากระบบ CMA โดยใช้วงจรเลื่อนเฟสในการปรับค่าคลื่น.....	95
5.14 ค่าจินตภาพของค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้จากระบบ CMA โดยใช้วงจรเลื่อนเฟสในการปรับค่าคลื่น.....	95
5.15 ค่าจริงของค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้จากระบบ CMA โดยใช้การสังเคราะห์ค่าคลื่นทางดิจิทัลเป็นตัวเริ่มต้น.....	96
5.16 ค่าจินตภาพของค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้จากระบบ CMA โดยใช้การสังเคราะห์ค่าคลื่นทางดิจิทัลเป็นตัวเริ่มต้น.....	96
5.17 แบบรูปการแผ่พลังงานหลังการลู่เข้าของ CMA.....	97

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

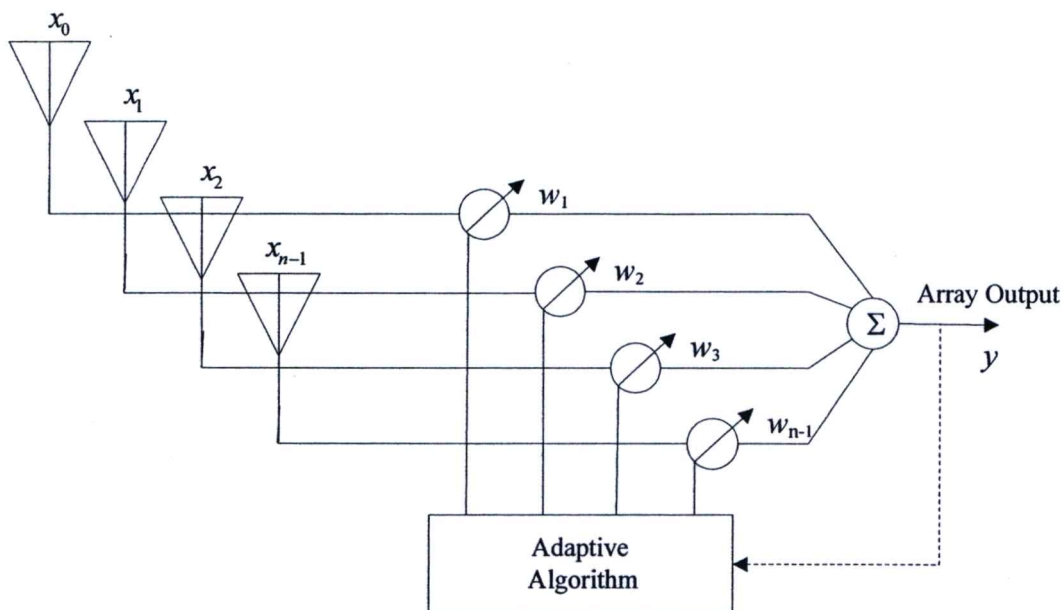
ในปัจจุบันนี้ การสื่อสารไร้สายกำลังเป็นที่นิยมและมีบทบาทสำคัญต่อการทำธุรกรรมหรือประกอบกิจกรรมต่างๆ อย่างหลากหลาย ด้วยความต้องการการใช้งานระบบการสื่อสารไร้สายที่มากขึ้นนี้เอง ทำให้ความต้องการความจุของช่องสัญญาณรวมไปถึงประสิทธิภาพของระบบมีมากขึ้น ปัญหาที่สำคัญอย่างหนึ่งของการสื่อสารแบบไร้สายนี้คือ ปัญหาสัญญาณแทรกสอดในการสื่อสาร วิธีการแก้ปัญหาลำโพงเหล่านี้ที่นิยมอย่างหนึ่งคือ วิธีการของสายอากาศอัจฉริยะ โดยสามารถแบ่งออกเป็นสามวิธีการย่อย [1] ได้แก่

1. ระบบสวิตช์ลำคลื่น (switched-beam systems) ระบบสวิตช์ลำคลื่นนี้จะเป็นการเลือกสวิตช์แบบรูปการแผ่พลังงานแบบหนึ่งจากหลายๆ แบบ เพื่อให้ทิศทางของลำคลื่นหลักอยู่ใกล้กับทิศทางของสัญญาณรับ ซึ่งจะทำให้สามารถรับสัญญาณพึงประสงค์ได้ดียิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ดี เนื่องจากลำคลื่นมีรูปแบบที่ตายตัว ดังนั้น หากสัญญาณแทรกสอดอยู่ในทิศทางเดียวกับลำคลื่นที่สวิตช์ไป จะทำให้ระบบรับสัญญาณแทรกสอดได้ดีกว่าแทน

2. ระบบแถวลำดับปรับตัว (adaptive array systems) ระบบแถวลำดับปรับตัวเป็นการปรับแบบรูปการแผ่พลังงาน โดยสามารถปรับลำคลื่นหลักให้ชี้ไปในทิศทางของสัญญาณพึงประสงค์ ในขณะเดียวกันก็ปรับแบบรูปการแผ่พลังงานในทิศทางของสัญญาณแทรกสอดให้ต่ำลงได้ ระบบแถวลำดับปรับตัวนี้สามารถปรับลำคลื่นตามผู้ใช้งานได้ตามเวลาจริง ซึ่งแตกต่างจากระบบสวิตช์ลำคลื่นที่ไม่สามารถปรับให้ลำคลื่นหลักตรงกับทิศทางของสัญญาณพึงประสงค์ตลอดได้

3. การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเส้นทาง (spatial division multiple access : SDMA) เป็นวิธีการที่ใช้การประมวลผลเส้นทางสำหรับแต่ละผู้ใช้งาน และสร้างลำคลื่นที่แตกต่างกันสำหรับแต่ละผู้ใช้งาน โดยแต่ละลำคลื่นที่สร้างขึ้นจะมีลำคลื่นหลักชี้ไปในทิศทางของผู้ใช้งานที่ต้องการและลดทอนสัญญาณจากผู้ใช้งานอื่นทั้งหมดได้

สายอากาศแถวลำดับปรับตัวเป็นสายอากาศแถวลำดับที่สามารถปรับลำคลื่นให้มีทิศทางไปตามผู้ใช้งานได้ โดยโครงสร้างพื้นฐานของสายอากาศแถวลำดับปรับตัวเป็นดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 โครงสร้างพื้นฐานของสายอากาศแถวลำดับปรับตัว

การทำงานของสายอากาศแถวลำดับปรับตัวนั้น ทำได้โดยการคูณค่าถ่วงน้ำหนักเข้ากับสัญญาณที่รับได้จากแต่ละองค์ประกอบของสายอากาศ โดยค่าถ่วงน้ำหนักนั้นเป็นค่าที่ปรับค่าได้ โดยหาได้จากอัลกอริทึมการปรับตัวที่จำเพาะเจาะจง โดยอัลกอริทึมการปรับตัวสามารถแบ่งออกได้เป็นสองชนิด ได้แก่ อัลกอริทึมการปรับตัวแบบไม่บอด (non-blind) และแบบบอด (blind) [2]

อัลกอริทึมการปรับตัวแบบไม่บอดนั้น เป็นการปรับตัวโดยใช้สัญญาณอ้างอิงช่วย ตัวอย่างของอัลกอริทึมการปรับตัวแบบไม่บอดได้แก่ อัลกอริทึม Least Mean Square (LMS), Recursive Least Square (RLS) [3] ในทางกลับกัน อัลกอริทึมการปรับตัวแบบบอดนั้น ไม่จำเป็นต้องใช้สัญญาณอ้างอิงเข้ามาช่วย โดยอัลกอริทึมการปรับตัวแบบบอดที่สำคัญ ได้แก่ Bussgang algorithm ซึ่งอาศัยคุณสมบัติของสัญญาณส่งทางด้านภากรับเข้ามาช่วยในการปรับตัว ตัวอย่างของอัลกอริทึมแบบ Bussgang ได้แก่ decision-directed algorithm, Sato algorithm และ constant modulus algorithm (CMA) [2]

ในปัจจุบันนี้ อัลกอริทึมการปรับตัวแบบบอดกำลังได้รับความสนใจและเป็นที่ยอมรับในการนำมาใช้ในระบบการสื่อสารแบบไร้สาย [2] เนื่องจากข้อได้เปรียบที่ไม่จำเป็นต้องใช้สัญญาณอ้างอิงนั่นเอง โดยอัลกอริทึมการปรับตัวแบบบอดที่เป็นที่ยอมรับมากคือ อัลกอริทึม CMA ซึ่งสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนได้โดยใช้คุณสมบัติเอนVELOPE (envelope) คงที่ของสัญญาณ (สัญญาณที่มีเอนVELOPE คงที่ ได้แก่ สัญญาณที่มีการมอดูเลตทางความถี่ หรือมอดูเลตเฟส) ทั้งนี้เนื่องจากสัญญาณแทรกสอดจะมีผลกระทบทำให้แอมพลิจูดเกิดการเปลี่ยนแปลง ดังนั้น อัลกอริทึม CMA จะใช้

คุณสมบัติการคงที่ของเอนเวโลปของสัญญาณส่งในการปรับตัวเพื่อลดผลกระทบของสัญญาณแทรกสอด [4]

อัลกอริทึม CMA ได้ถูกนำเสนอครั้งแรกโดย Godard [4] เพื่อใช้ในการปรับเท่าของสัญญาณ (blind equalization) ต่อมาภายหลัง Treichler และ Agee ได้ปรับปรุงอัลกอริทึม CMA โดยนำมาใช้ในระบบสายอากาศแกลวลำดับปรับตัว [5] ต่อมาได้มีการวิเคราะห์ปรับปรุงอัลกอริทึม CMA กันอย่างแพร่หลาย [6]-[10] และมีการประยุกต์ใช้งานสายอากาศแกลวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA มาใช้สำหรับระบบสื่อสารเคลื่อนที่มอดูเลตแบบ Gaussian minimum shift keying (GMSK) [11]-[12] อัลกอริทึม CMA ถูกใช้ในการลดสัญญาณแทรกสอดในการสื่อสารดิจิทัล ดังใน [13]-[15]

อย่างไรก็ตาม อัลกอริทึมการปรับตัว CMA นั้นมีข้อเสียที่สำคัญคือ มีการลู่เข้าที่ช้า [6], [13]-[18] โดยได้มีการศึกษาพบว่าคุณสมบัติการลู่เข้าของอัลกอริทึมการปรับตัว CMA นั้นขึ้นอยู่กับค่าเริ่มต้นที่ป้อนให้กับระบบ [19] ดังนั้น จึงมีความพยายามที่จะแก้ปัญหาค่าช้านี้ อย่างแพร่หลาย โดยวิธีแก้วิธีหนึ่งที่ได้มีการนำเสนอคือ การนำอัลกอริทึม Sample Matrix Inversion (SMI) มาใช้เป็นตัวเริ่มต้นให้กับอัลกอริทึม CMA [20] แม้ว่าวิธีนี้จะสามารถทำให้อัลกอริทึม CMA มีการลู่เข้าที่เร็วขึ้นก็ตาม แต่วิธีนี้ก็ยังมีข้อเสียอยู่ กล่าวคือ การทำงานของอัลกอริทึม SMI จะทำให้ใช้ทรัพยากรในการคำนวณมาก และวิธีการนี้จะทำให้อัลกอริทึมไม่เป็นแบบบอดอีกด้วย

ต่อมา Boonpoonga และคณะ ได้นำเสนอการใช้ฮาร์ดแวร์เข้ามาช่วยเป็นตัวเริ่มต้นให้กับอัลกอริทึม CMA [21] โดยวิธีการนี้จะใช้วงจรเลื่อนเฟสขนาด 1 บิตในการสวิตช์ลำคลื่นของสายอากาศไปในทิศทางต่างๆ โดยลำคลื่นหลักที่สามารถรับสัญญาณแรงได้ที่สุดจะถูกใช้เป็นลำคลื่นเริ่มต้นให้กับอัลกอริทึม CMA วิธีการนี้สามารถเพิ่มความเร็วในการลู่เข้าของอัลกอริทึม CMA ได้ แต่เนื่องจากการใช้วงจรเลื่อนเฟสในการสวิตช์ลำคลื่น ทำให้ระบบนี้มีโครงสร้างซับซ้อนยุ่งยาก และไม่กะทัดรัด

จากข้อเสียในการใช้งานวงจรเลื่อนเฟสดังกล่าวนี้เอง ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนอวิธีการสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัลเพื่อนำมาใช้ในการปรับลำคลื่นทดแทนการใช้งานวงจรเลื่อนเฟส โดยแนวคิดในการสังเคราะห์ลำคลื่นนี้ได้ถูกนำเสนอโดย Olen และ Compton [22] ซึ่งใช้พื้นฐานของทฤษฎีสายอากาศแกลวลำดับปรับตัวในการคำนวณค่าถ่วงน้ำหนัก เพื่อใช้ในการปรับลำคลื่นของสายอากาศไปในทิศทางที่ต้องการได้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

จากที่ได้กล่าวไว้ก่อนหน้านี้นี้ว่า ข้อเสียที่สำคัญของอัลกอริทึม CMA นั้นคือการลู่เข้าที่ช้า ซึ่งที่ผ่านมาได้มีความพยายามในการปรับปรุงคุณสมบัติการลู่เข้าของ CMA ให้ดียิ่งขึ้น โดย

Boonpoonga และคณะ ได้นำเสนอการใช้ฮาร์ดแวร์เข้ามาช่วย โดยใช้สายอากาศแถวลำดับปรับลำคลื่นได้ในการปรับลำคลื่นเริ่มต้นให้กับ CMA ซึ่งจะทำให้ระบบ CMA สามารถถูกเข้าได้เร็วยิ่งขึ้น [21] แต่เนื่องจากใช้วงจรเลื่อนเฟสในการปรับลำคลื่น จึงทำให้ระบบมีความซับซ้อน รวมทั้งยังมีการสูญเสียจากการใช้วงจรเลื่อนเฟสอีกด้วย ดังนั้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้มุ่งหวังเพื่อนำเสนอระบบสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัลเพื่อนำมาใช้ในการปรับลำคลื่นเริ่มต้นให้กับสายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA แทนการใช้วงจรเลื่อนเฟส และนอกจากนี้ยังได้นำเสนอการประยุกต์ใช้งานสายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA สำหรับหลายผู้ใช้งานอีกด้วย

1.3 ขอบเขตการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัลเพื่อนำไปใช้ในการปรับลำคลื่นเริ่มต้นให้กับระบบสายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA โดยจะแยกการประยุกต์ใช้งานเป็นการใช้งานสำหรับรับสัญญาณผู้ใช้งานเดียว และการประยุกต์ใช้งานสำหรับการรับสัญญาณหลายผู้ใช้งาน

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บทด้วยกัน โดยมีรายละเอียดดังนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความจำเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ และขอบเขตในการศึกษาวิจัย

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย อันประกอบไปด้วย หลักการของสายอากาศแถวลำดับปรับเฟสได้ การปรับลำคลื่นของสายอากาศ และอธิบายหลักการพื้นฐานของระบบสายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA เพื่อเป็นพื้นฐานความเข้าใจในระบบสายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA โดยใช้การสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัลเป็นตัวเริ่มต้นที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

บทที่ 3 กล่าวถึงระบบสายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA โดยใช้การสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัลเป็นตัวเริ่มต้น โดยจะอธิบายถึงหลักการของระบบการสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัลและการนำไปใช้เพื่อปรับลำคลื่นเริ่มต้นให้กับระบบสายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA รวมทั้งนำเสนอผลการจำลองระบบทั้งในกรณีที่ไม่มี การปรับลำคลื่นเริ่มต้น และในกรณีที่ปรับลำคลื่นเริ่มต้นไปในทิศทางต่างๆ เพื่อแสดงให้เห็นถึงการทำงานและประสิทธิภาพของระบบที่นำเสนอ

บทที่ 4 กล่าวถึงการใช้งานสายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA ในการรับสัญญาณผู้ใช้งานหลายผู้ใช้งาน โดยนำเสนอถึงระบบสายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA สำหรับหลายผู้ใช้งานในแบบต่างๆ ตลอดจนนำเสนอการประยุกต์ใช้ระบบสายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA โดยใช้การสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัลเป็นตัวเริ่มต้นเพื่อ

นำไปใช้งานในการรับสัญญาณจากหลายผู้ใช้งาน นอกจากนี้ยังได้นำเสนอถึงผลการจำลองระบบสายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA โดยใช้การสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัลสำหรับหลายผู้ใช้งาน เพื่อทดสอบการทำงานของระบบ

บทที่ 5 นำเสนอการสร้างระบบและทดสอบการใช้งาน โดยประกอบไปด้วย การหาผลกระทบของความยาวคำ (wordlength) ที่มีต่อการทำงานของระบบ และหาค่าความยาวคำที่เหมาะสมในการทำงานของระบบ นอกจากนี้ ยังได้นำเสนอผลที่ได้จากการทดสอบระบบ โดยเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลอง เพื่อแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถทำงานจริงได้เป็นอย่างดี

บทที่ 6 ในบทนี้จะสรุปผลการวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ รวมถึงวิจารณ์และเสนอแนะผลการวิจัย

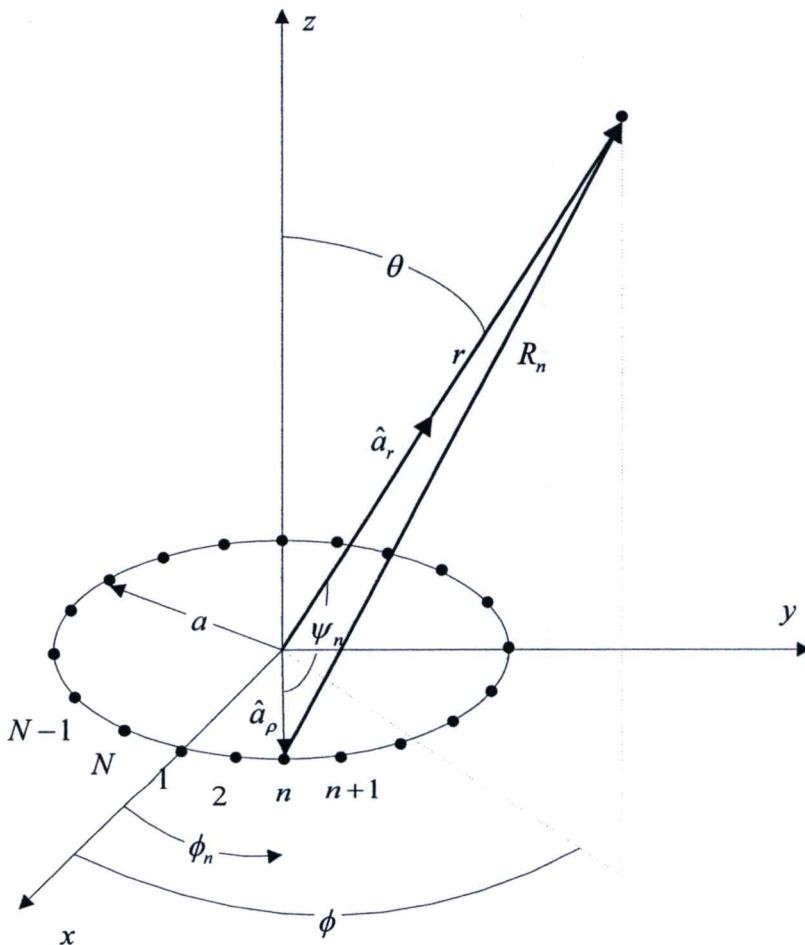
บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 บทนำ

เนื่องจากสายอากาศแฉวลำดับปรับตัวเป็นวิธีการที่สำคัญวิธีหนึ่งในการแก้ปัญหาสัญญาณแทรกสอดในระบบการสื่อสารไร้สาย ในบทนี้จะกล่าวถึงที่มาและหลักการพื้นฐานของระบบสายอากาศแฉวลำดับปรับตัว ตลอดจนหลักการของอัลกอริทึมการปรับตัวแบบ CMA และสายอากาศแฉวลำดับปรับเฟสปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA โดยจะได้นำเสนอผลการจำลองระบบดังกล่าวในบทถัดไป

2.2 สายอากาศแฉวลำดับวงกลมปรับเฟสได้



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเรขาคณิตของสายอากาศแฉวลำดับวงกลม N องค์ประกอบ

สายอากาศแถวลำดับวงกลม มีการวางสายอากาศจำนวนหลายองค์ประกอบเป็นรูปวงกลมในระนาบเดียวกัน โดยสามารถปรับเปลี่ยนองค์ประกอบเพื่อกำหนดแบบรูปการแผ่พลังงานได้ แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับวงกลมมีลักษณะสมมาตร มีพูซังต่ำ และสามารถควบคุมทิศทางการกวาดลำคลื่นหลักของสายอากาศให้ไปยังทิศทางที่ต้องการได้

ในการคำนวณหาตัวประกอบแถวลำดับของสายอากาศแถวลำดับวงกลม สามารถหาได้โดยสมมติให้สายอากาศไอโซทรอปิกจำนวน N องค์ประกอบวางอยู่บนระนาบ xy เป็นรูปวงกลมที่มีรัศมี a เป็นระยะห่างเท่า ๆ กันดังรูปที่ 2.1

สนามนอร์แมลไลซ์ของแถวลำดับจะเป็น

$$E_n(r, \theta, \phi) = \sum_{n=1}^N a_n \frac{e^{-jkR_n}}{R_n} \quad (2.1)$$

โดย R_n เป็นระยะห่างจากองค์ประกอบที่ n ไปยังจุดสังเกต เป็นระยะห่างเท่ากับ

$$R_n = (r^2 + a^2 - 2ar \cos \psi)^{1/2} \quad (2.2)$$

ในกรณี r มากกว่า a มาก ๆ จะได้ว่า

$$R_n = r - a \cos \psi_n = r - a(\hat{a}_\rho \cdot \hat{a}_r) = r - a \sin \theta \cos(\phi - \phi_n) \quad (2.3)$$

เมื่อ

$$\begin{aligned} \hat{a}_\rho \cdot \hat{a}_r &= (\hat{a}_x \cos \phi_n + \hat{a}_y \sin \phi_n) \cdot (\hat{a}_x \sin \theta \cos \phi + \hat{a}_y \sin \theta \sin \phi + \hat{a}_z \cos \theta) \\ &= \sin \theta \cos(\phi - \phi_n) \end{aligned} \quad (2.4)$$

สมมติให้ $R_n = r$ สมการ (2.1) จะสามารถลดรูปได้เป็น

$$E_n(r, \theta, \phi) = \frac{e^{-jkr}}{r} \sum_{n=1}^N a_n e^{+jka \sin \theta \cos(\phi - \phi_n)} \quad (2.5)$$

เมื่อ

α_n เป็นสัมประสิทธิ์การกระตุ้น (excitation coefficients) ทั้งแอมพลิจูดและเฟสขององค์ประกอบที่ n

$$\phi_n = 2\pi \left(\frac{n}{N} \right) \text{ เป็นตำแหน่งเชิงมุมขององค์ประกอบที่ } n$$

โดยทั่วไปแล้ว สัมประสิทธิ์การกระตุ้นขององค์ประกอบที่ n สามารถเขียนได้เป็น

$$a_n = I_n e^{j\alpha_n} \quad (2.6)$$

เมื่อ I_n เป็นกระแสกระตุ้นขององค์ประกอบที่ n

α_n เป็นเฟสกระตุ้นขององค์ประกอบที่ n

แทนสมการ (2.6) ลงในสมการ (2.5) จะได้

$$E_n(r, \theta, \phi) = \frac{e^{-jkr}}{r} [AF(\theta, \phi)] \quad (2.7)$$

เมื่อ

$$AF(\theta, \phi) = \sum_{n=1}^N I_n e^{j[ka \sin \theta \cos(\phi - \phi_n) + \alpha_n]} \quad (2.8)$$

สมการ (2.8) เป็นตัวประกอบแอมพลิจูดของแอมพลิจูดวงกลมที่มี N องค์ประกอบ ซึ่งในการทำให้ลำคลื่นหลักชี้ในทิศ (θ_0, ϕ_0) จะกระตุ้นเฟสขององค์ประกอบตัวที่ n ได้โดย [1]

$$\alpha_n = -ka \sin \theta_0 \cos(\phi_0 - \phi_n) \quad (2.9)$$

เมื่อ k เป็นค่าคงตัวการแพร่กระจายคลื่น

a เป็นรัศมีของแอมพลิจูด

θ_0 เป็นทิศทางการกวาดลำคลื่นของสายอากาศในแนวมุมเงย

ϕ_0 เป็นทิศทางการกวาดลำคลื่นของสายอากาศในแนวมุมแอซิมัท

ϕ_n เป็นตำแหน่งเชิงมุมขององค์ประกอบของสายอากาศตัวที่ n ซึ่งมีค่า $2\pi \left(\frac{n}{N} \right)$

N เป็นจำนวนองค์ประกอบของสายอากาศแอมพลิจูด

2.3 การปรับลำคลื่นของสายอากาศแถวลำดับวงกลม

2.3.1 การป้อนเฟสกระตุ้นสายอากาศแต่ละองค์ประกอบ

ในการปรับลำคลื่นของสายอากาศแถวลำดับ [1] จะใช้การป้อนกระแสที่มีเฟสแตกต่างกันในแต่ละองค์ประกอบ โดยสามารถกระตุ้นเฟสขององค์ประกอบที่ n ของสายอากาศได้จากสมการ (2.9)

$$\alpha_n = -k a \sin \theta_0 \cos(\phi_0 - \phi_n) \quad (2.9)$$

โดยในงานวิจัยนี้จะกำหนดค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศแถวลำดับวงกลม [23] เป็นดังนี้

1. กำหนดให้สายอากาศแถวลำดับกวาดคลื่นในแนวมุมเอซิมัท และให้มุมเงยอยู่ในแนวระนาบ $\theta_0 = 30^\circ$ เนื่องจากสายอากาศของสถานีฐานส่วนใหญ่จะมีความสูงจากระดับพื้นดินมาก ซึ่งทำให้มุมระหว่างสายอากาศส่งและรับมีค่าอยู่ระหว่าง 0° และ 90° ดังนั้นจึงกำหนดให้ลำคลื่นหลักชี้ทำมุม 30° ในแนวมุมเงย

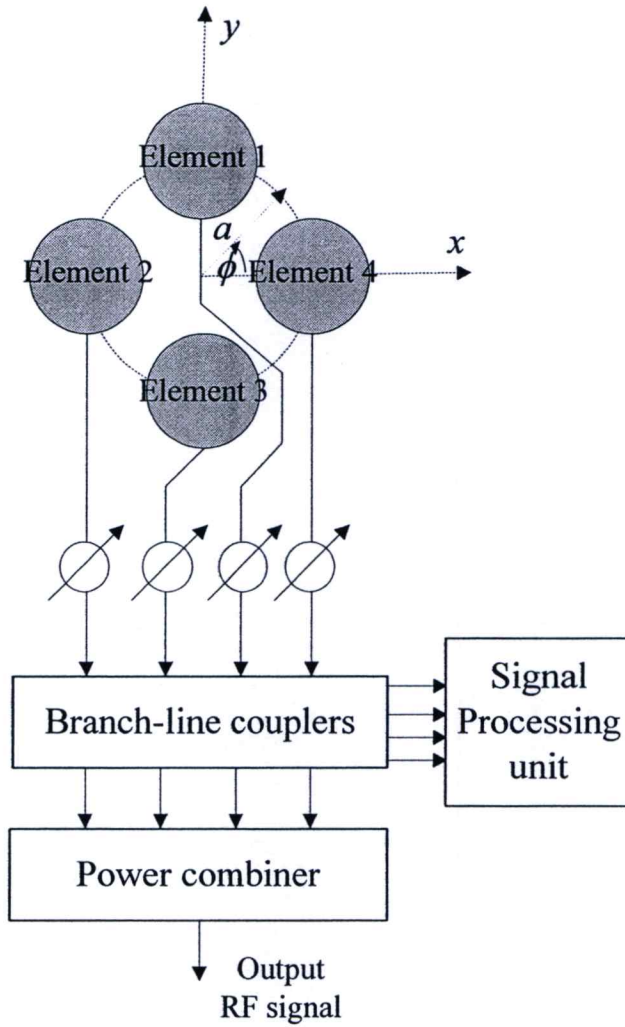
2. การกวาดลำคลื่นของสายอากาศแต่ละทิศห่างกัน 90° เท่า ๆ กัน

3. จำนวนองค์ประกอบของสายอากาศเท่ากับ 4 องค์ประกอบ

4. แอมพลิจูดที่ป้อนให้กับสายอากาศแต่ละองค์ประกอบมีขนาดเท่ากัน

5. พิจารณาแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบมุมเอซิมัทของแถวลำดับ โดยใช้สมการ (2.8) เพื่อพิจารณาเลือกรัศมีของสายอากาศให้มีคุณสมบัติเหมาะสม กล่าวคือ สามารถครอบคลุมทิศทางในระนาบมุมเอซิมัทได้ไม่ต่ำกว่า 90° เนื่องจากสายอากาศจะต้องสามารถปรับทิศทางได้สี่ทิศทางและกำลังงานระหว่างลำคลื่นหลักและพูคลื่นเล็ก ต้องแตกต่างกันอย่างน้อย 10 dB เพื่อให้สามารถกำหนดทิศทางได้อย่างถูกต้อง

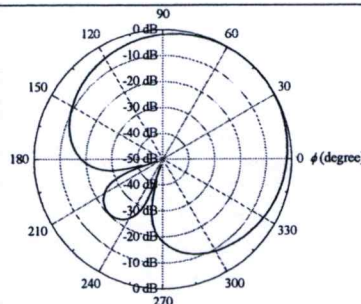
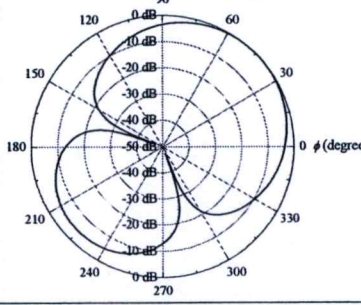
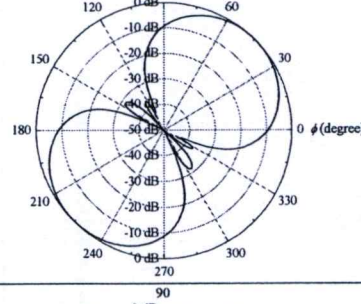
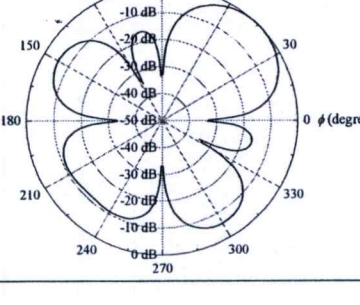
จากการศึกษาคุณสมบัติของสายอากาศแถวลำดับเมื่อปรับค่ารัศมีแถวลำดับ [23] พบว่า เมื่อกำหนดรัศมีแถวลำดับให้เป็น $0.5\lambda_0$, $0.75\lambda_0$ และ λ_0 ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (half-power beamwidth : HPBW) มีค่าไม่ถึง 90° ทำให้ไม่สามารถกวาดลำคลื่นครอบคลุม 360° ตามที่ต้องการ และเมื่อรัศมีแถวลำดับมีค่าเป็น $0.25\lambda_0$ อัตราส่วนหน้าต่อหลัง (front-to-back ratio) มีค่า 7.05 dB ซึ่งน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ อย่างไรก็ตาม เมื่อกำหนดรัศมีแถวลำดับให้เป็น $0.375\lambda_0$ แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบมุมเอซิมัทของแถวลำดับ ลำคลื่นหลักมีความกว้าง 116° ซึ่งครอบคลุมทิศทางที่ต้องการและมีพูคลื่นเล็กเพียงลำคลื่นเดียวทางด้านหลัง โดยอัตราส่วนระหว่างลำคลื่นด้านหน้าและด้านหลังมากกว่า 10 dB ซึ่งเพียงพอที่จะทำให้สายอากาศแถวลำดับวงกลมสามารถกำหนดทิศทางได้อย่างถูกต้อง



รูปที่ 2.2 โครงสร้างสายอากาศแถวลำดับปรับเฟสสี่ลำคลื่นเบนราบ

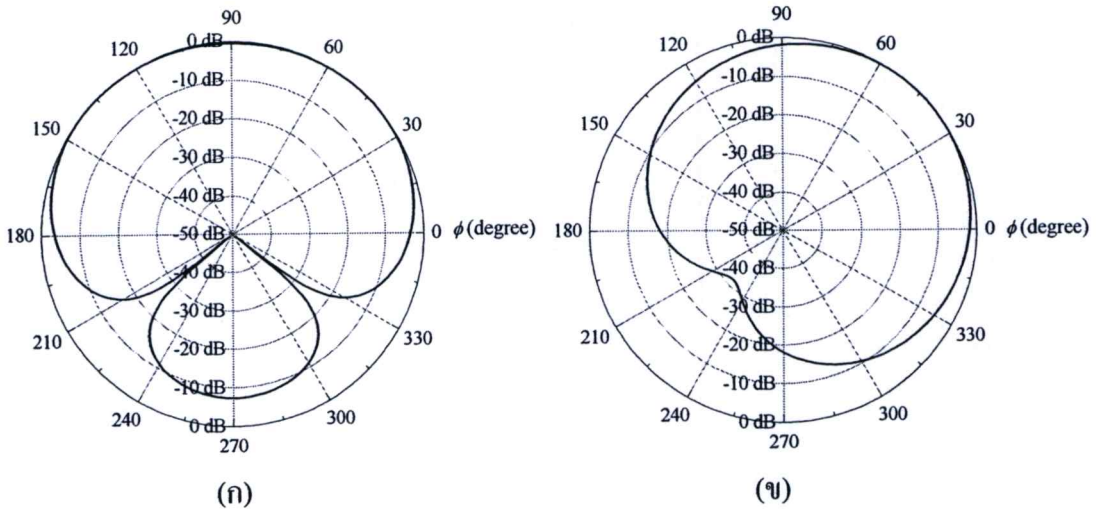
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของสายอากาศแถวลำดับเมื่อทำการปรับค่ารัศมีแถวลำดับ [23]

รัศมีแถวลำดับ (λ_0)	คุณสมบัติของสายอากาศ		แบบรูปการแผ่พลังงาน
	ความกว้างลำคลื่น ครึ่งกำลัง	อัตราส่วน หน้าต่อหลัง (dB)	
0.250	186°	7.05	

รัศมีแวลำดับ (λ_0)	คุณสมบัติของสายอากาศ		
	ความกว้างลำคลื่น ครึ่งกำลัง	อัตราส่วน หน้าต่อหลัง (dB)	แบบรูปการแผ่พลังงาน
0.375	116°	20.45	
0.500	86°	4.36	
0.750	54°	0.16	
1.000	42°	11.48	

พิจารณาจำนวนองค์ประกอบของสายอากาศแวลำดับ จากรูปที่ 2.3 พบว่า เมื่อกำหนดให้แวลำดับมีจำนวน 2 องค์ประกอบ ลำคลื่นหลักจะชี้ทำมุม 45° และ 135° ในระนาบ แอซิมัท และอัตราส่วนหน้าต่อหลังที่ได้มีค่าน้อยกว่า 10 dB ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน และเมื่อกำหนดให้แวลำดับมีจำนวน 4 และ 8 องค์ประกอบ จะได้ลำคลื่นหลักชี้ในทิศทาง 45° ในระนาบแอซิมัท และไม่มีพหุพลัง ซึ่งเหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน แต่เนื่องจากสายอากาศที่มีจำนวน 4

องค์ประกอบนั้นสามารถใช้งานได้เช่นเดียวกัน ดังนั้น จึงไม่มีความจำเป็นจะต้องเพิ่มจำนวนองค์ประกอบเป็น 8 องค์ประกอบ ซึ่งจะทำให้ต้นทุนของสายอากาศเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.3 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแฉวลำดับเมื่อจำนวนองค์ประกอบของสายอากาศเป็น (ก) 2 องค์ประกอบ (ข) 8 องค์ประกอบ

6. ค่าคงที่การแพร่กระจายคลื่นเป็น $\frac{2\pi}{\lambda_0}$

เมื่อนำค่าพารามิเตอร์จาก 1 – 6 มาแทนลงในสมการ (2.9) จะได้

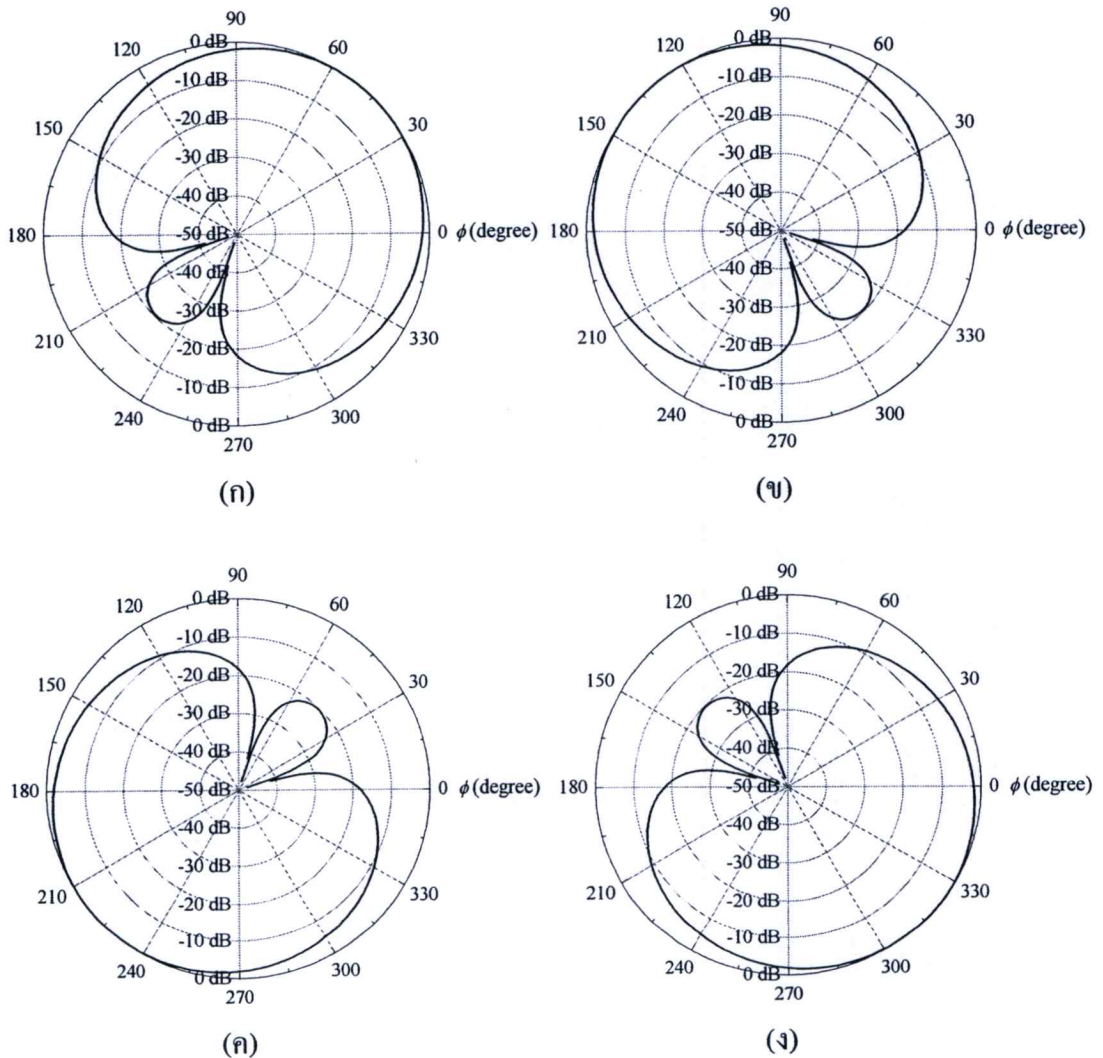
$$\begin{aligned}\alpha_n &= -\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}\right)(0.375\lambda_0)\sin(30^\circ)\cos\left(\phi_0 - \frac{\pi n}{4}\right) \\ &= -0.75\pi\sin(30^\circ)\cos\left(\phi_0 - \frac{\pi n}{4}\right)\end{aligned}\quad (2.10)$$

ซึ่งสามารถคำนวณหาเฟสของกระแสที่ปะปนให้กับสายอากาศแต่ละองค์ประกอบ ในทิศทางทั้งสี่ทิศทาง โดยให้ทิศทางเริ่มต้นในแนวมุมแอมิจัท (ϕ_0) เป็น 90° , 180° , 270° และ 0° ตามลำดับ ค่าเฟสของกระแสที่กระตุ้นให้กับสายอากาศแต่ละองค์ประกอบ และทิศทางของลำคลื่นหลักของสายอากาศแฉวลำดับวงกลม แสดงในตารางที่ 2.2

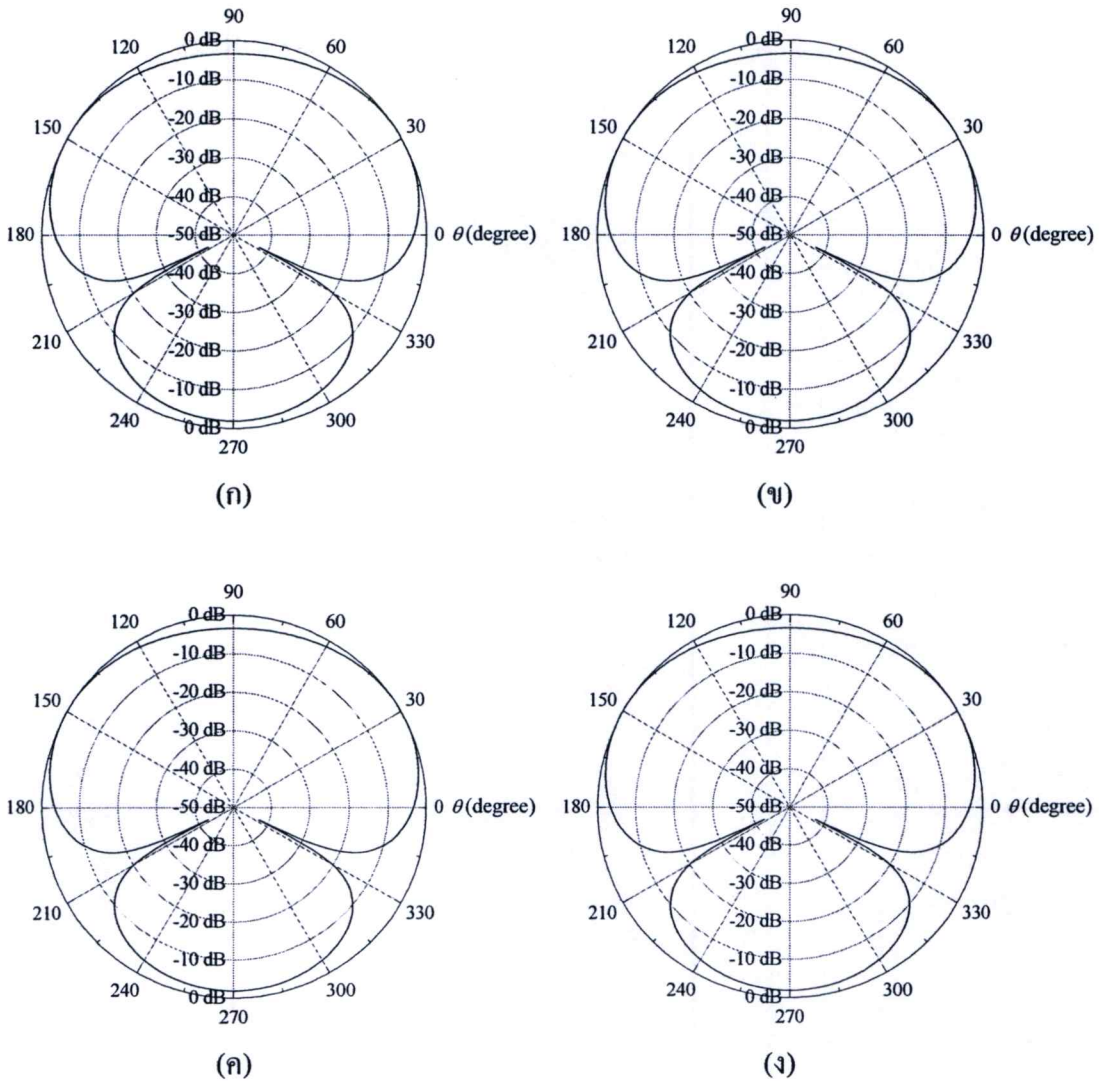
ตารางที่ 2.2 ค่าเฟสสำหรับกระตุ้นสายอากาศแต่ละองค์ประกอบ

ทิศทาง ลำคลื่นหลัก (ϕ_0) \backslash เฟส	องค์ประกอบที่ 1	องค์ประกอบที่ 2	องค์ประกอบที่ 3	องค์ประกอบที่ 4
45°	-47.7°	47.7°	47.7°	-47.7°
135°	-47.7°	-47.7°	47.7°	47.7°
225°	47.7°	-47.7°	-47.7°	47.7°
315°	47.7°	47.7°	-47.7°	-47.7°

แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อป้อนเฟสกระตุ้นสายอากาศแต่ละองค์ประกอบเป็นดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบเอซิมัทเมื่อป้อนเฟสกระตุ้นสายอากาศแต่ละองค์ประกอบโดยลำคลื่นหลักมีทิศทาง (ก) 45° (ข) 135° (ค) 225° (ง) 315°



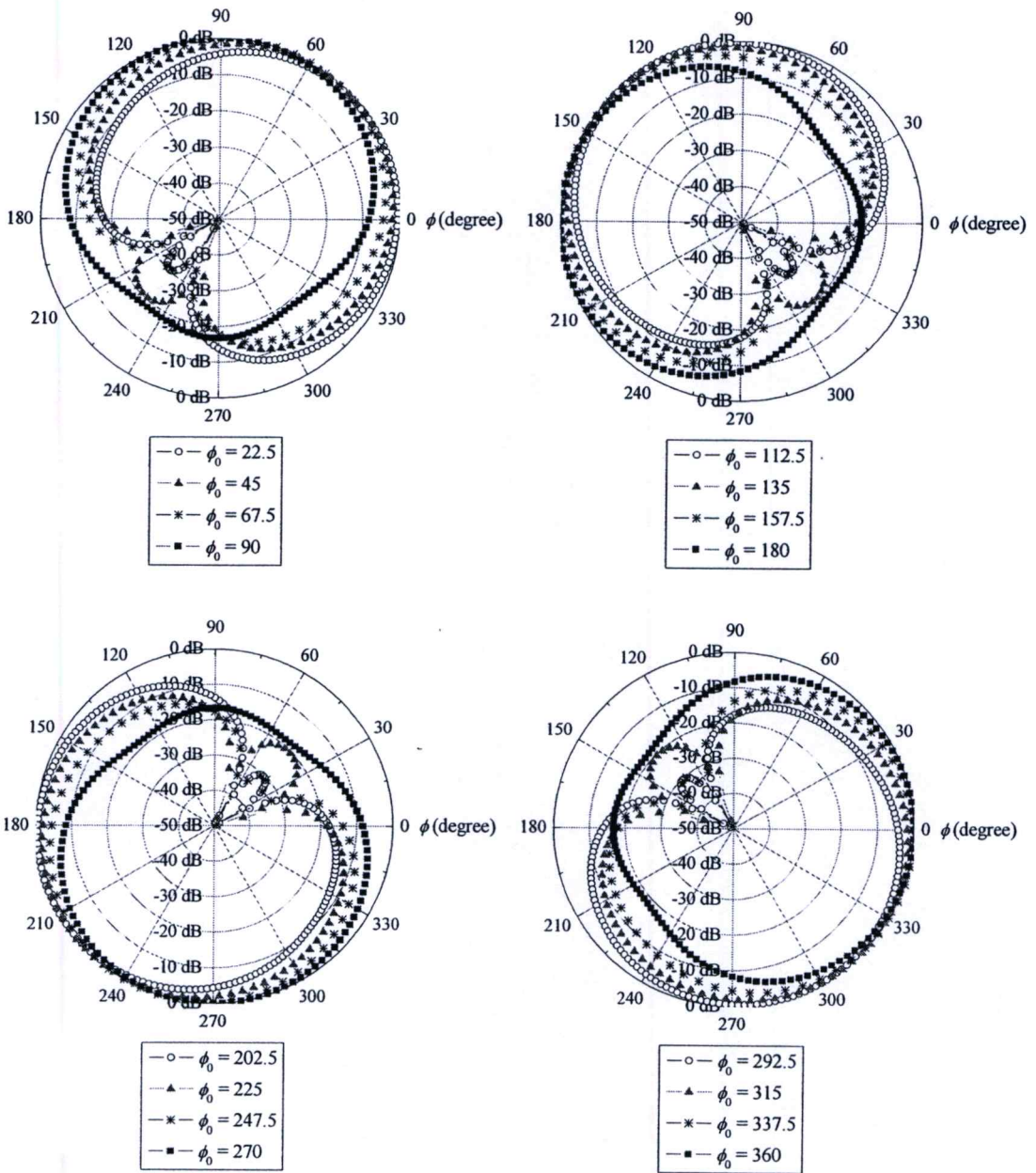
รูปที่ 2.5 แบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบมุมยกเมื่อป้อนเฟสกระตุ้นสายอากาศแต่ละองค์ประกอบ โดยลำคลื่นหลักมีทิศทาง (ก) 45° (ข) 135° (ค) 225° (ง) 315°

การเพิ่มความเร็วในการลู่เข้าของระบบสายอากาศปรับตัวด้วย CMA นั้น ขึ้นอยู่กับการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับระบบ โดยสายอากาศปรับลำคลื่น 12 ทิศทางสามารถลู่เข้าได้เร็วกว่าสายอากาศปรับลำคลื่น 4 ทิศทาง [24] ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้สายอากาศปรับลำคลื่น 16 ทิศทางเพื่อให้สามารถลู่เข้าได้เร็วยิ่งขึ้น จึงลดระยะห่างในการกวาดลำคลื่นจากเดิม 90° เป็น 22.5° โดยสามารถคำนวณค่าเฟสกระตุ้นได้ตามสมการ (2.10) โดยให้ทิศทางเริ่มต้นในแนวมุมแอซิมัท (ϕ_0) ในแต่ละจุดภาคเป็น 90° , 180° , 270° และ 0° ตามลำดับ ค่าเฟสของกระแสที่กระตุ้นให้กับสายอากาศแต่ละองค์ประกอบ และทิศทางของลำคลื่นหลักของสายอากาศแถวลำดับวงกลม แสดงในตารางที่

ตารางที่ 2.3 ค่าเฟสสำหรับกระตุ้นสายอากาศแต่ละองค์ประกอบของสายอากาศปรับลำคลื่น 16 ทิศทาง

เฟส ทิศทาง ลำคลื่นหลัก (ϕ)	องค์ประกอบ ที่ 1	องค์ประกอบ ที่ 2	องค์ประกอบ ที่ 3	องค์ประกอบ ที่ 4
22.5°	-25.8°	62.4°	25.8°	-62.4°
45°	-47.7°	47.7°	47.7°	-47.7°
67.5°	-62.4°	25.8°	62.4°	-25.8°
90°	-67.5°	0°	67.5°	0°
112.5°	-62.4°	-25.8°	62.4°	25.8°
135°	-47.7°	-47.7°	47.7°	47.7°
157.5°	-25.8°	-62.4°	25.8°	62.4°
180°	0°	-67.5°	0°	67.5°
202.5°	25.8°	-62.4°	-25.8°	62.4°
225°	47.7°	-47.7°	-47.7°	47.7°
247.5°	62.4°	-25.8°	-62.4°	25.8°
270°	67.5°	0°	-67.5°	0°
292.5°	62.4°	25.8°	-62.4°	-25.8°
315°	47.7°	47.7°	-47.7°	-47.7°
337.5°	25.8°	62.4°	-25.8°	-62.4°
360°	0°	67.5°	0°	-67.5°

ซึ่งจะได้แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อป้อนเฟสกระตุ้นสายอากาศแต่ละองค์ประกอบตามตารางที่ 2.2 ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อป้อนเฟสกระตุ้นสายอากาศแต่ละองค์ประกอบตามตารางที่ 2.3

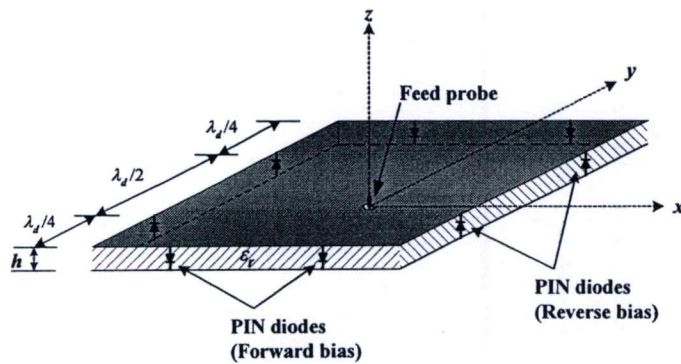
2.3.2 สายอากาศแถวลำดับปรับเฟสสวิทช์ลาคี่นได้

เนื่องจากสายอากาศแถวลำดับปรับเฟสสี่ลาคี่นแบนราบ (flat-four beam phased array antenna) สามารถปรับลาคี่นได้เพียงสี่ทิศทาง ดังนั้น Ngamjanyaporn และคณะได้นำเสนอสายอากาศแถวลำดับปรับเฟสด้วยองค์ประกอบสวิทช์ลาคี่นได้ (switched-beam element phased array antenna) ซึ่งสามารถปรับลาคี่นได้หลายทิศทางกว่าแบบเดิม [25]

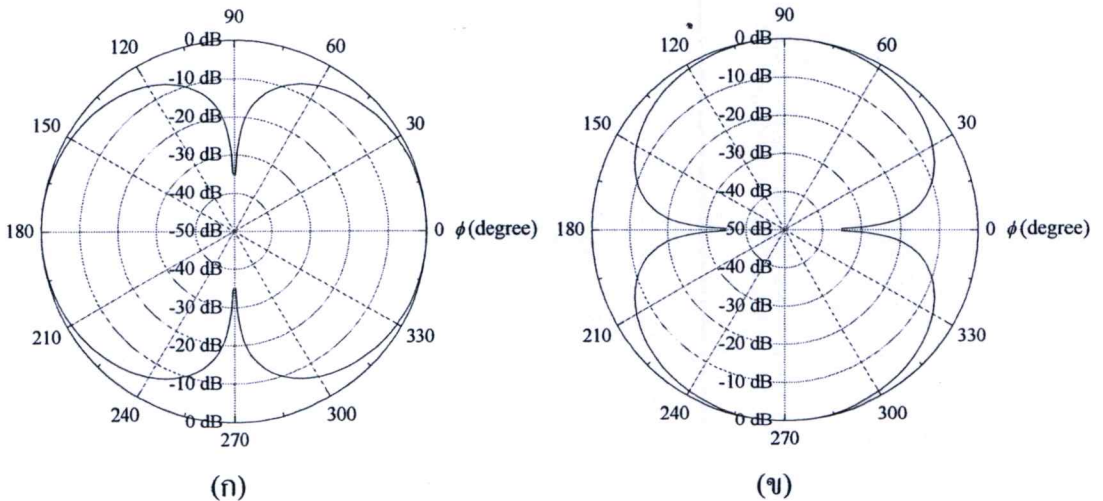
ข้อแตกต่างที่สำคัญระหว่างสายอากาศแถวลำดับปรับเฟสสี่ลาคี่นแบนราบกับสายอากาศแถวลำดับปรับเฟสด้วยองค์ประกอบสวิทช์ลาคี่นได้ คือ สายอากาศแถวลำดับปรับเฟสด้วย

องค์ประกอบสวิตช์ลาคี่นได้ จะใช้สายอากาศแพทช์เดี่ยวสวิตช์ลาคี่นได้เป็นองค์ประกอบแถว ลาคี่นแทนการใช้องค์ประกอบแถวลาคี่นที่มีการชี้ทิศทางแบบรอบทิศทางในระนาบเดี่ยว (omnidirectional) ซึ่งจากการใช้องค์ประกอบแบบปรับลาคี่นได้จะทำให้สามารถปรับลาคี่นได้ หลากทิศทางมากขึ้นโดยไม่จำเป็นต้องเพิ่มจำนวนองค์ประกอบแถวลาคี่น

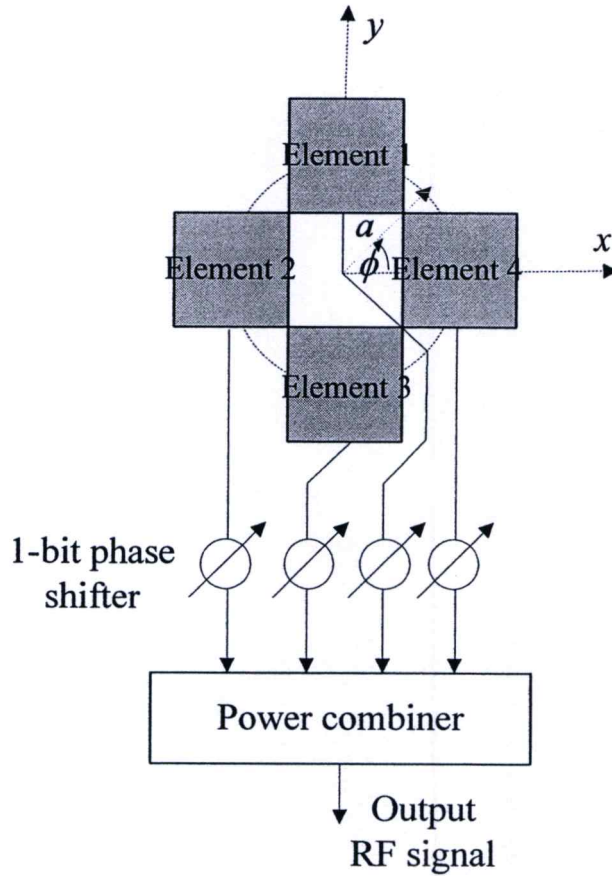
รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างของสายอากาศแพทช์เดี่ยวสวิตช์ลาคี่นได้ [26] ซึ่งสายอากาศ ชนิดนี้จะสามารถสวิตช์ลาคี่นของสายอากาศไปในทิศทาง x และ y ในระนาบมุมเอซิมัทได้ด้วย การป้อนไบแอสไปข้างหน้า (forward bias) หรือ ไบแอสกลับหลัง (reverse bias) ให้กับพินไดโอด (PIN diode) โดยแบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อสวิตช์ลาคี่นไปในทิศทาง x และ y เป็นดังรูปที่ 2.8 (ก) และ 2.8 (ข) ตามลาคี่น



รูปที่ 2.7 โครงสร้างสายอากาศแพทช์เดี่ยวสวิตช์ลาคี่นได้



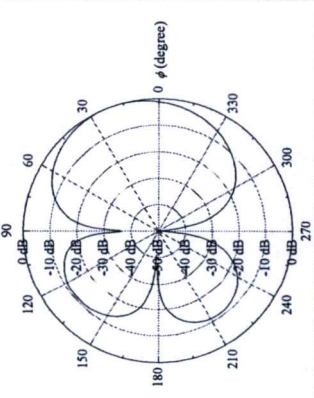
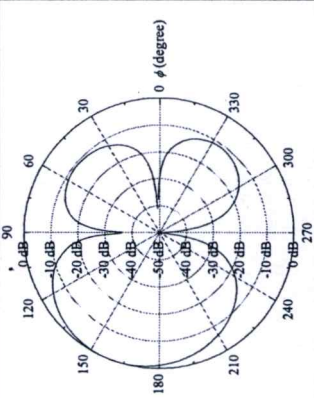
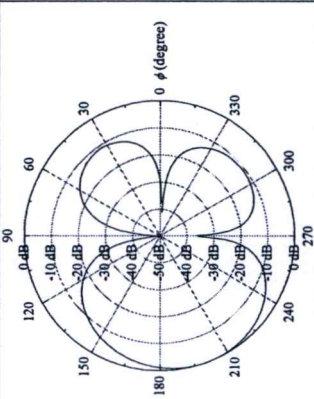
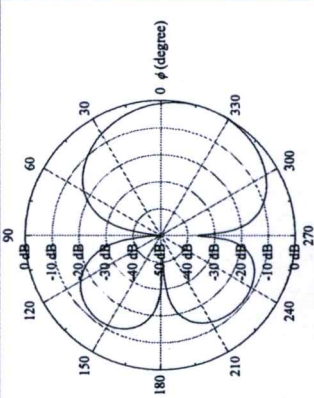
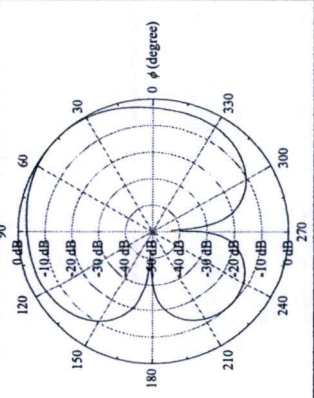
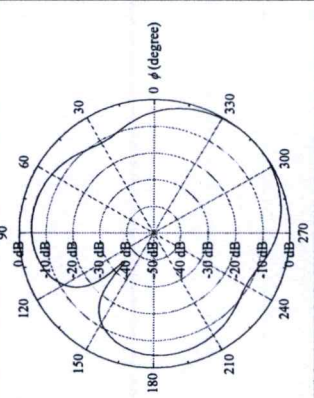
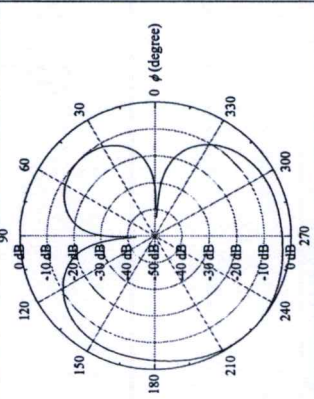
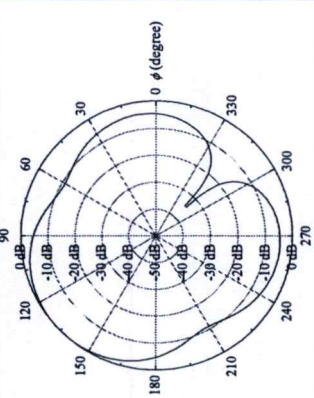
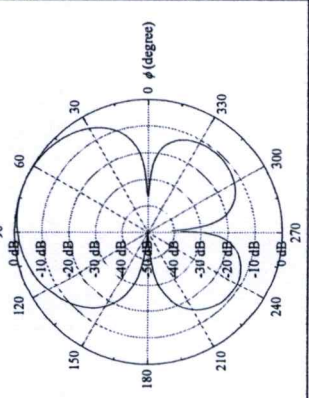
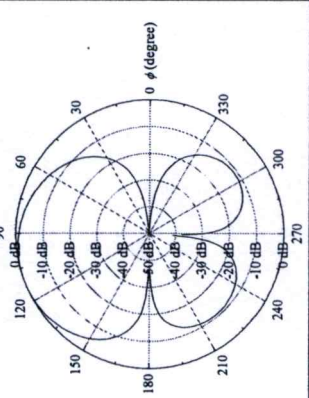
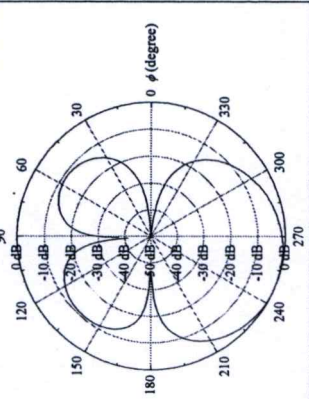
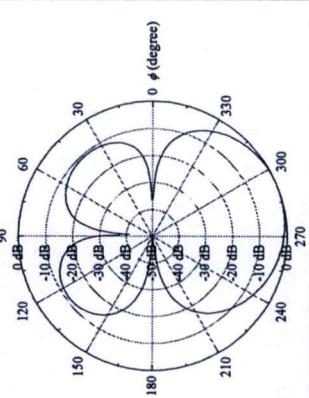
รูปที่ 2.8 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแพทช์เดี่ยวสวิตช์ลาคี่นได้เมื่อสวิตช์ลาคี่นใน ทิศทาง (ก) x (ข) y



รูปที่ 2.9 โครงสร้างของสายอากาศแถวลำดับปรับเฟสด้วยองค์ประกอบสวิตช์ลาคี่นได้

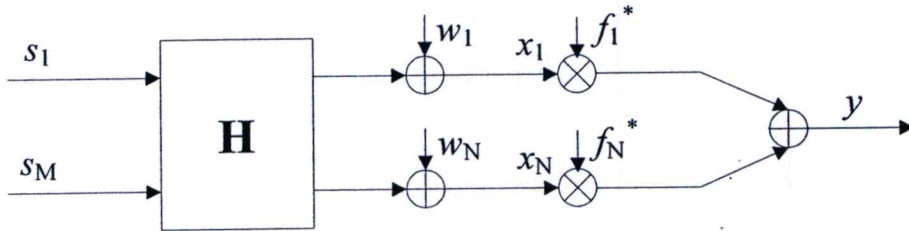
จากคุณสมบัติดังกล่าวข้างต้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้เลือกสายอากาศแถวลำดับปรับเฟสด้วยองค์ประกอบสวิตช์ลาคี่นได้ ซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.9 มาใช้งานในระบบสายอากาศปรับตัว โดยได้ทำการปรับปรุงรัศมีแถวลำดับของสายอากาศจากเดิม 0.5λ เป็น 0.3λ เพื่อให้อัตราส่วนหน้าต่อหลังมากกว่า 10 dB และใช้วงจรเลื่อนเฟสหนึ่งบิตในการควบคุมการป้อนเฟสกระตุ้น $\pm 54^\circ$ ซึ่งสามารถปรับลาคี่นหลักให้ชี้ไปในทิศทาง $\phi_0 = 45^\circ, 135^\circ, 225^\circ$ และ 315° ได้ จากการปรับปรุงพารามิเตอร์ของสายอากาศ ทำให้สามารถปรับลาคี่นได้ใน 12 ทิศทาง [24] โดยมีแบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อกำหนดทิศทางการแผ่พลังงานของสายอากาศแต่ละองค์ประกอบ และป้อนเฟสกระตุ้นที่ค่าต่างๆ เป็นดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับปรับเฟสด้วยองค์ประกอบสวิตช์ลำดับได้

แบบรูปการแผ่พลังงานโดยกำหนดค่าเฟสกระตุ้นเป็น				
ทิศทางการแผ่พลังงานของแต่ละองค์ประกอบ (1-2-3-4)	$-54^\circ, 54^\circ, 54^\circ$ และ -54°	$-54^\circ, -54^\circ, 54^\circ$ และ 54°	$54^\circ, 54^\circ, -54^\circ$ และ -54°	
xxxx				
yyyy				
yyyy				

2.4 อัลกอริทึมการปรับตัวแบบ Constant Modulus Algorithm (CMA)

อัลกอริทึม CMA ได้ถูกนำเสนอเป็นครั้งแรกเพื่อใช้สำหรับกำจัดสัญญาณแทรกสอดในการส่งผ่านสัญญาณ [4] โดยที่อัลกอริทึม CMA ไม่ต้องการขบวนการของสัญญาณอ้างอิง (training sequence) ซึ่งทำให้อัลกอริทึมนี้เป็นอัลกอริทึมแบบบอด โดยในการกำจัดสัญญาณแทรกสอดนั้น CMA จะใช้คุณสมบัติของสัญญาณส่งที่สามารถรู้ได้ เช่น ค่าของเอนVELOPE (envelope) ที่คงที่ เป็นต้น ตัวอย่างของสัญญาณชนิดนี้ ได้แก่ สัญญาณ FM, QPSK เป็นต้น



รูปที่ 2.10 แบบจำลองของระบบปรับตัว

พิจารณาแบบจำลองของระบบดังในรูปที่ 2.10 สัญญาณที่รับได้จากเครื่องรับมีค่าดังสมการ

$$\mathbf{x} = \mathbf{H}\mathbf{s} + \mathbf{w} \quad (2.11)$$

เมื่อ $\mathbf{x} = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_N]^T \in \mathcal{S}^N$ เป็นเวกเตอร์ของสัญญาณที่รับได้ $\mathbf{H} \in \mathcal{S}^{N \times M}$ เป็นเมตริกซ์ของผลตอบสนองแถวลำดับซึ่งไม่รู้ค่า $\mathbf{s} = [s_1 \ s_2 \ \dots \ s_M]^T \in \mathcal{S}^M$ เป็นเวกเตอร์ของสัญญาณต้นกำเนิด และ $\mathbf{w} = [w_1 \ w_2 \ \dots \ w_N]^T \in \mathcal{S}^N$ เป็นสัญญาณรบกวน
ค่าประมาณของเอาต์พุต y หาได้จาก

$$y = \mathbf{f}^H \mathbf{x} = \mathbf{q}^H \mathbf{s} + \mathbf{f}^H \mathbf{w} \quad (2.12)$$

เมื่อ $\mathbf{f} = [f_1 \ f_2 \ \dots \ f_N]^T \in \mathcal{S}^N$ คือ เวกเตอร์ประมาณค่าผลตอบสนอง และ $\mathbf{q} = \mathbf{H}^H \mathbf{f} \in \mathcal{S}^M$ คือผลตอบสนองรวมของระบบ

จาก [4]-[5] การประมาณค่า CM ทำได้โดยการหาค่าต่ำสุดของฟังก์ชันจุดประสงค์ของ CM (CM cost function) จากสมการ

$$J(\mathbf{f}) = E\left\{\left(|y|^2 - r\right)^2\right\} = E\left\{\left(|\mathbf{f}^H \mathbf{x}|^2 - r\right)^2\right\} \quad (2.13)$$

เมื่อ $r = E\{|s_i|^4\} / E\{|s_i|^2\}^2$ เป็นค่าคงที่การกระจาย (dispersion constant) โดย s_i คือ สัญญาณที่ต้องการประมาณค่า โดยปกติแล้ว การหาค่าต่ำสุดสามารถทำได้โดยการหาค่าความผิดพลาดเฉลี่ยกำลังสอง (mean-square error) เมื่อไม่มีสัญญาณรบกวน เครื่องรับ CM จะลู่เข้าหาคำตอบเดียวกับเครื่องรับแบบวินเนอร์ (Wiener receiver) [2]-[3]

ในทางปฏิบัติแล้ว เครื่องรับแบบ constant modulus (CM receiver) มักจะใช้อัลกอริทึม สโตคาสติกเกรเดียนต์ (stochastic gradient algorithm) ในการหาค่าต่ำสุดของฟังก์ชันจุดประสงค์ $J(\mathbf{f})$ ดังสมการ

$$\mathbf{f}(k+1) = \mathbf{f}(k) - \mu \frac{\partial}{\partial \mathbf{f}} J(\mathbf{f}) \quad (2.14)$$

โดยที่ μ คือค่าคงที่ขนาดของระดับขั้น (step-size constant) ซึ่งจะมีผลต่ออัตราการลู่เข้า และ $\frac{\partial}{\partial \mathbf{f}} J(\mathbf{f})$ คือ ค่าประมาณของเกรเดียนต์ของฟังก์ชันจุดประสงค์สัมพันธ์กับฟังก์ชัน $\mathbf{f}(k)$ เกรเดียนต์ของ $J(\mathbf{f})$ หาได้โดย

$$\frac{\partial}{\partial \mathbf{f}} J(\mathbf{f}) = 2E\left\{\left(|\mathbf{f}^H \mathbf{x}|^2 - r\right) \mathbf{y}^* \mathbf{x}\right\} \quad (2.15)$$

เมื่อแทนค่าจากสมการ (2.15) ลงในสมการ (2.14) จะได้

$$\mathbf{f}(k+1) = \mathbf{f}(k) - \mu \mathbf{x}(k) \mathbf{y}^*(k) \left\{ \left(|\mathbf{y}(k)|^2 - r \right)^2 \right\} \quad (2.16)$$

ในการวิเคราะห์หาค่าต่ำสุดของฟังก์ชันจุดประสงค์ CM เราจะตั้งสมมติฐานต่างๆ ดังนี้

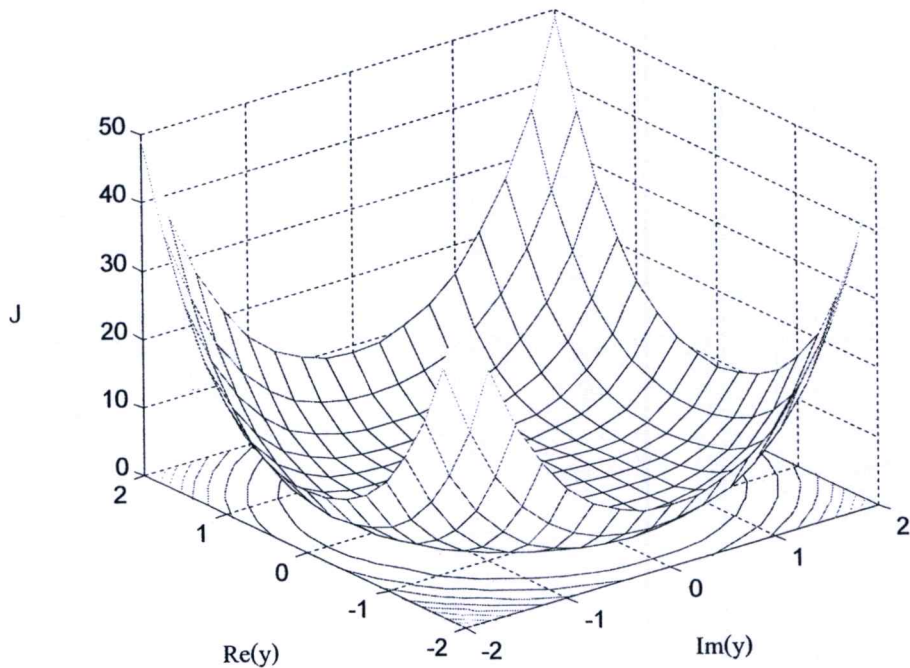
1. $\mathbf{H} \in \mathcal{S}^{N \times M}$ มีระดับขั้นเต็ม (full rank)
2. เวกเตอร์แหล่งกำเนิด \mathbf{s} เป็น sub-Gaussian ที่มีส่วนประกอบเป็นอิสระต่อกัน มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ โดยที่ $E\{\mathbf{s}\mathbf{s}^H\} = \mathbf{I}$ และมีความสมมาตร
3. \mathbf{w} เป็นแบบเกาส์ (Gaussian) ที่มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ มีความแปรปรวนร่วมเกี่ยว (covariance) เป็น $\sigma^2 \mathbf{I}^2$ และเป็นอิสระจาก \mathbf{s}

แหล่งกำเนิดจะเป็น super-Gaussian หรือ sub-Gaussian ต่อเมื่อ $\kappa_s < \kappa_g$ หรือ $\kappa_s > \kappa_g$ ตามลำดับ โดยค่าเคอร์โทซิสที่พึงพอใจ (satisfies kurtosis) κ_s หาได้จาก

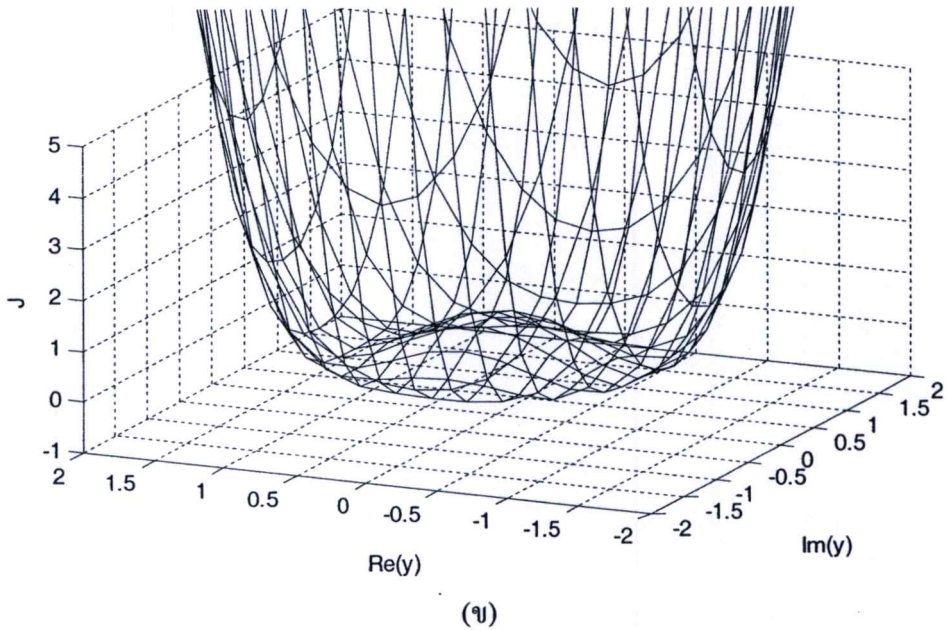
$$\kappa_s = \frac{E\{|s|^4\}}{E\{|s|^2\}^2} \quad (2.17)$$

เมื่อเคอร์โทซิส (kurtosis) ของกระบวนการสุ่มค่าจริงแบบเกาส์ มีค่าเป็น $\kappa_s = 3$ และค่าของกระบวนการสุ่มค่าเชิงซ้อนแบบเกาส์เป็น $\kappa_s = 2$

สมมติฐานที่ 1 แสดงความหมายว่า จำนวนของสายอากาศมีมากกว่าจำนวนของแหล่งกำเนิด ทำให้ไม่มีสัญญาณจากแหล่งกำเนิดใดที่จะแพร่กระจายไปในเส้นทางเดียวกัน ในสมมติฐานที่ 2 จะเป็นการรวมความเป็นไปได้ในการที่แหล่งกำเนิดจะมีค่าทางสถิติที่แตกต่างกัน เว้นแต่ในกรณีที่ทุกแหล่งกำเนิดเป็นแบบเกาส์ (Gaussian) โดยสมมติฐานที่ 2 และ 3 จะเกี่ยวข้องโดยตรงกับการปรับเท่าแบบบอดในเครื่องรับ CM



(ก)



รูปที่ 2.11 ฟังก์ชันการกระจายของ Constant Modulus (CM dispersion function) ในเทอมของ สัญญาณเอาต์พุตในอวกาศ (ก) ในระนาบ 3 มิติ (ข) ภาพส่วนขยายในช่วง $y(k)=0$

จากสมการ (2.13) ฟังก์ชันการกระจายของ CM เป็นดังรูปที่ 2.11 ซึ่งจะเป็ฟังก์ชันของ สัญญาณเอาต์พุตที่ประกอบไปด้วยส่วนค่าจริงและค่าจินตภาพ ในที่นี้ได้กำหนดค่า r ให้มีค่า เท่ากับ 1 จากรูป จะเห็นได้ว่าเมื่อฟังก์ชันจุดประสงค์ J มีค่าต่ำสุดจนเป็นศูนย์บนวงกลมหนึ่ง หน่วยที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่จุดเริ่มต้น จะมีสองเงื่อนไขที่ทำให้เกิดกรณีเกรเดียนต์เป็นศูนย์ (zero-gradient) ขึ้น เงื่อนไขแรกคือ เมื่อคอนทัวร์ของ $|y(k)|=1$ ซึ่งเป็นตำแหน่งของการลู่เข้า ของอัลกอริทึม อีกเงื่อนไขหนึ่งที่ทำให้เกิดกรณีเกรเดียนต์เป็นศูนย์ได้เช่นกัน คือ ในกรณีที่จุด $y(k)=0$ แต่ในกรณีนี้จะไม่เป็นคำตอบที่เกิดขึ้นจริง เนื่องจากสาเหตุสองประการ ประการ แรกคือ จุด $y(k)=0$ จะไม่คงที่และไม่เสถียร เนื่องจากสัญญาณรบกวนหรือการเหนี่ยวนำอื่นๆ จะทำให้ \mathbf{f} ถูกย้ายออกจากจุดเกรเดียนต์เป็นศูนย์ ประการที่สอง เนื่องจากโดยทั่วไปแล้วสัญญาณ อินพุต $\mathbf{x}(k)$ จะมีความกว้างแถบ (bandwidth) ไม่เป็นศูนย์ ดังนั้น เงื่อนไขเดียวที่จะทำให้เกิดจุด เกรเดียนต์เป็นศูนย์ได้นั้นคือ จะต้องให้ $\mathbf{f}=0$ ซึ่งจะสังเกตได้ว่ากรณี $\mathbf{f}=0$ จะเป็นจริงได้เฉพาะ ช่วงเริ่มต้นการปรับตัวของอัลกอริทึมเท่านั้น โดยปกติแล้วจะไม่นิยมใช้การตั้งค่าเริ่มต้นของ \mathbf{f} ให้เป็นศูนย์ทั้งหมด แต่โดยส่วนมากมักจะใช้การตั้งค่าเริ่มต้นให้มีค่าเป็นศูนย์จำนวน $N-1$ และมี ค่าเป็น 1 อยู่หนึ่งตัวให้กับ CMA เพื่อกำหนดค่าเริ่มต้นให้เป็นการตอบสนองแบบผ่านตลอด (all-pass response)

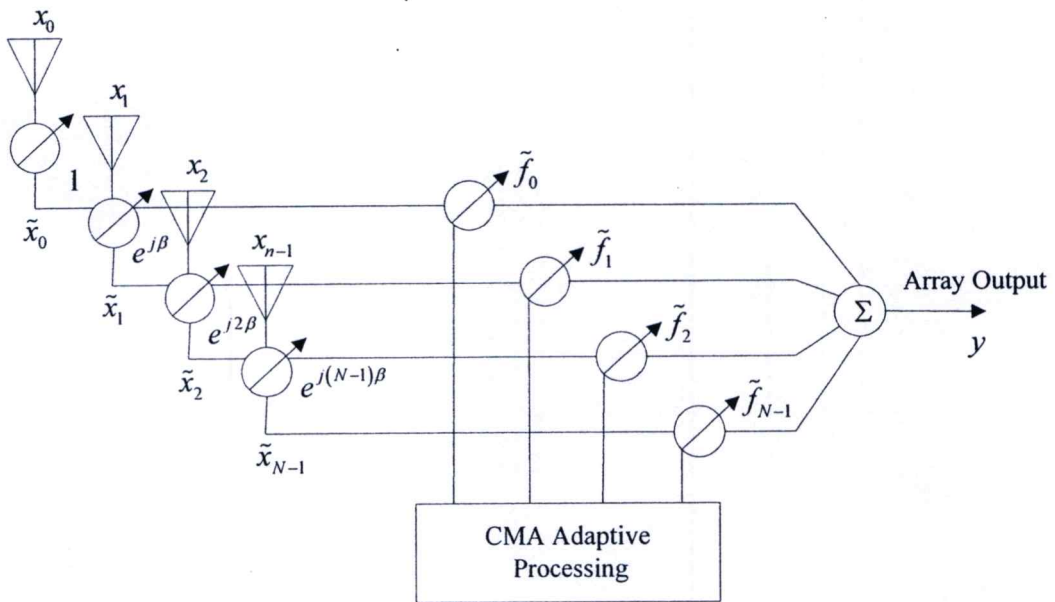
เมื่อ \mathbf{H} เป็นเมตริกซ์จัตุรัสและมีระดับขั้นเต็ม ดังสมมติฐานที่ 1 การปรับค่าของ $\mathbf{f} \in \mathcal{S}^N$ โดยทั่วไปจะเทียบเท่ากับการปรับผลตอบสนองของระบบโดย

$$\mathbf{q} = \mathbf{H}^H \mathbf{f} \quad (2.18)$$

ดังนั้น การวิเคราะห์ระบบส่วนใหญ่จึงมักทำการแปลงจากการปรับตัวของค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ ของเครื่องรับไปเป็นค่าการปรับตัวของ \mathbf{q} [9] โดยผลตอบสนองของระบบของ $\mathbf{q} = [\pm 1 \ 0]^T$ หรือ $\mathbf{q} = [0 \ \pm 1]^T$ จะเกิดขึ้นเมื่อระบบเป็น zero-forcing (ZF) [2]

2.5 สายอากาศแถวลำดับปรับเฟสปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA

ในหัวข้อนี้จะนำเสนอการนำอัลกอริทึมการปรับตัวแบบ CMA มาใช้ร่วมกับสายอากาศแถวลำดับปรับเฟสได้ พิจารณาโครงสร้างของสายอากาศแถวลำดับปรับเฟสปรับตัวได้ในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 โครงสร้างสายอากาศแถวลำดับปรับเฟสปรับตัว CMA

จากรูป สัญญาณเชิงซ้อนที่รับได้จากสายอากาศองค์ประกอบที่ i จะถูกกระตุ้นเฟส หลังจากการกระตุ้นเฟส สัญญาณอินพุตของ CMA $\tilde{x}_i(k)$ จะถูกคูณด้วยค่าถ่วงน้ำหนักที่ปรับค่าได้ $\tilde{f}_i(k)$ โดยที่ k แทนค่าเชิงเวลาของตัวแปร สัญญาณเอาต์พุตของสายอากาศ $y(k)$ จะได้จากการรวมผลคูณของ $\tilde{f}_i(k)\tilde{x}_i(k)$

$$y(k) = \sum_{i=0}^{N-1} \tilde{f}_i^*(k) \tilde{x}_i(k) \quad (2.19)$$

เพื่อความสะดวกมากขึ้น สมการ (2.19) สามารถเขียนได้เป็น

$$y(k) = \tilde{\mathbf{f}}^H(k) \tilde{\mathbf{x}}(k) \quad (2.20)$$

เมื่อ $\tilde{\mathbf{f}}(k) = [\tilde{f}_0(k) \ \tilde{f}_1(k) \ \dots \ \tilde{f}_{N-1}(k)]^T$ เป็นค่าถ่วงน้ำหนัก และเวกเตอร์ของอินพุตมีค่าเป็น $\tilde{\mathbf{x}}(k) = [\tilde{x}_0(k) \ \tilde{x}_1(k) \ \dots \ \tilde{x}_{N-1}(k)]^T$ N คือจำนวนองค์ประกอบของสายอากาศ เราจะสมมติให้แอมพลิจูดของสัญญาณมีค่าเป็น 1 โดยปราศจากการสูญเสีย ระบบ CMA จะปรับค่าถ่วงน้ำหนัก $\tilde{\mathbf{f}}(k)$ ไปตามฟังก์ชันจุดประสงค์ของ CM (CM cost function) ซึ่งมีค่าดังสมการ

$$J(\tilde{\mathbf{f}}(k)) = \left\{ [\tilde{\mathbf{f}}^H(k) \tilde{\mathbf{x}}(k)]^2 - 1 \right\} \quad (2.21)$$

โดยจะทำการปรับเพื่อให้ค่าฟังก์ชันจุดประสงค์มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งผลจากการปรับนี้จะทำให้เวกเตอร์ค่าถ่วงน้ำหนักจะถูกปรับซ้ำดังสมการ [2]

$$\tilde{\mathbf{f}}(k+1) = \tilde{\mathbf{f}}(k) - 4\mu \tilde{\mathbf{x}}(k) y^*(k) (|y(k)|^2 - 1) \quad (2.22)$$

โดยที่ μ คือค่าคงที่ขนาดของระดับขั้น (step-size) ในการปรับตัว

จากโครงสร้างดังกล่าวข้างต้น จะสังเกตได้ว่ามีความแตกต่างจากแวลลำดับ CM โดยทั่วไป ซึ่งจะใช้สัญญาณเชิงซ้อนในแถบความถี่ฐาน (baseband) $x_i(k)$ นำไปคูณกับค่าถ่วงน้ำหนัก $\tilde{f}_i(k)$ โดยตรง

จากการวิเคราะห์ฟังก์ชันจุดประสงค์ของ Constant Modulus (CM cost function) สำหรับการประมวลผลสัญญาณแวลลำดับ [9] พบว่า เมื่อไม่มีสัญญาณรบกวนและแหล่งกำเนิดทั้งหมดเป็น sub-Gaussian local minima ของฟังก์ชันจุดประสงค์ของ CM เป็นแบบครอบคลุม (global) และจะสามารถหาค่าจากแหล่งกำเนิดทั้งหมดได้อย่างสมบูรณ์ อย่างไรก็ตาม ปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นคือ เมื่อใช้ CMA ในการปรับค่าคลื่น สัญญาณที่ได้จะขึ้นอยู่กับค่าเริ่มต้นของ CMA เนื่องจาก สัญญาณที่รับได้โดยมากมักจะเป็นสัญญาณที่ไม่รู้จักและไม่สามารถแยกแยะได้อย่างแม่นยำ ดังนั้น การกำหนดค่าเริ่มต้นที่เหมาะสมให้กับ CMA จึงเป็นเรื่องสำคัญที่ต้องนำมาพิจารณาในการปรับใช้งาน เพื่อให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทที่ 3

สายอากาศแฉวลำดับปรับตัว CMA โดยใช้การสังเคราะห์ ลาคลื่นทางดิจิตอลเป็นตัวเริ่มต้น

3.1 บทนำ

เนื่องจากระบบสายอากาศแฉวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA มีการลู่เข้าที่ช้า ซึ่งพฤติกรรมการลู่เข้าที่ช้านี้สามารถแก้ไขได้โดยการป้อนค่าเริ่มต้นที่เหมาะสมให้กับระบบ โดยงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการนำวิธีการหลายอย่างมาใช้เพื่อเป็นค่าเริ่มต้นให้กับระบบ ในวิทยานิพนธ์บทนี้จะนำวิธีการปรับลาคลื่นเริ่มต้นของสายอากาศมาใช้เป็นตัวเริ่มต้นให้กับระบบ โดยจะนำเสนอระบบสังเคราะห์ลาคลื่นทางดิจิตอลเพื่อเป็นตัวเริ่มต้นให้กับระบบสายอากาศแฉวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA โดยได้ทำการจำลองระบบเพื่อศึกษาประสิทธิภาพและคุณสมบัติต่างๆ ของระบบที่นำเสนอ

3.2 การสังเคราะห์ลาคลื่นทางดิจิตอล

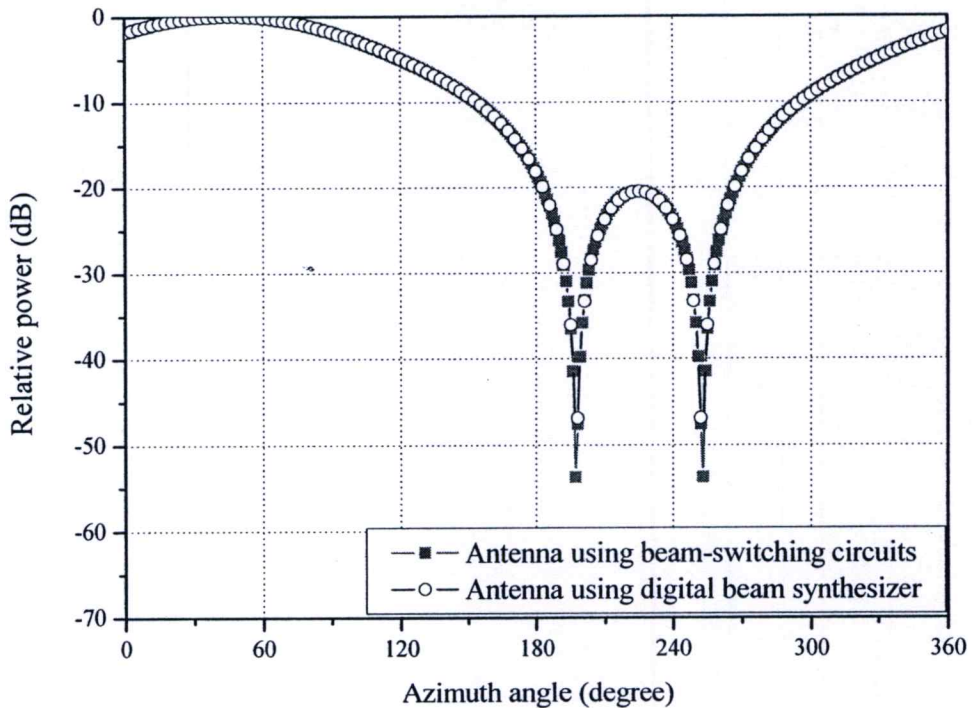
จากหลักการของสายอากาศแฉวลำดับวงกลมปรับเฟสได้ [1] พบว่า เราสามารถปรับลาคลื่นของสายอากาศแฉวลำดับได้โดยการป้อนค่าเฟสกระตุ้นให้กับสายอากาศแต่ละองค์ประกอบ ตามสมการ (2.9) จากงานที่ผ่านมา [21] ได้ใช้วงจรเลื่อนเฟสย่านอาร์เอฟ (RF phase shifter) ในการควบคุมการป้อนเฟสกระตุ้นให้กับสายอากาศ แต่เนื่องจากค่าใช้จ่ายของวงจรเลื่อนเฟสย่านอาร์เอฟที่ค่อนข้างสูง ขนาดของระบบสายอากาศที่ค่อนข้างใหญ่และยุ่งยากซับซ้อน รวมทั้งการสูญเสียของสัญญาณจากตัววงจรเลื่อนเฟสเอง วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนอวิธีการสังเคราะห์ลาคลื่นทางดิจิตอล เพื่อใช้ในการปรับทิศทางของสายอากาศแทนการใช้วงจรเลื่อนเฟสย่านอาร์เอฟเป็นตัวเลือก โดยวิธีการสังเคราะห์ลาคลื่นทางดิจิตอลนั้น จะใช้การคูณค่าถ่วงน้ำหนักกับสัญญาณที่รับได้โดยสายอากาศแทน

เนื่องจากโครงสร้างของสายอากาศแฉวลำดับปรับเฟสสี่ลาคลื่นแบนราบ (flat-four beam phased array antenna) ในงานวิจัยก่อนหน้า [23] นั้น จะใช้วงจรเลื่อนเฟสขนาด 1 บิต ในการปรับค่าเฟสกระตุ้นเพื่อให้สามารถปรับลาคลื่นให้ชี้ได้ใน 4 ทิศทาง ได้แก่ ทิศทาง 45° , 135° , 225° และ 315° ในระนาบมุมเอซิมัท ดังตารางที่ 2.2 จากค่าเฟสกระตุ้นในตารางที่ 2.2 สามารถคำนวณเป็นค่าถ่วงน้ำหนักให้กับระบบสังเคราะห์ลาคลื่นทางดิจิตอลได้ดังตารางที่ 3.1

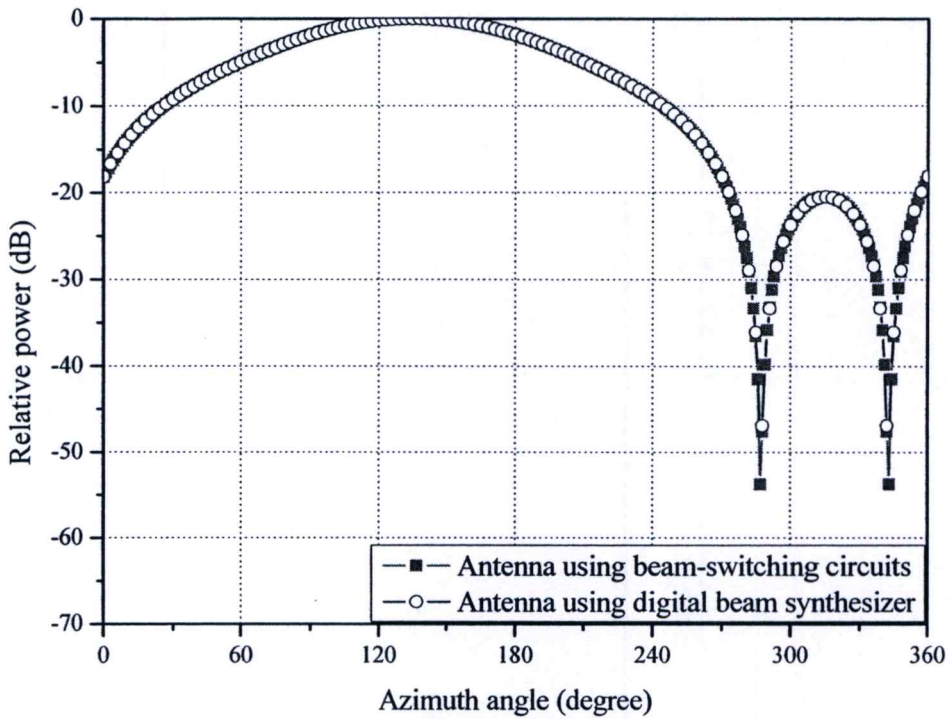
ตารางที่ 3.1 ค่าถ่วงน้ำหนักของสายอากาศแต่ละองค์ประกอบเพื่อใช้ในการสังเคราะห์ลำคลื่น

ทิศทาง ลำคลื่นหลัก (ϕ_0)	ค่าถ่วง น้ำหนัก	องค์ประกอบที่ 1	องค์ประกอบที่ 2	องค์ประกอบที่ 3	องค์ประกอบที่ 4
45°		$0.6726 - 0.7400j$	$0.6726 + 0.7400j$	$0.6726 + 0.7400j$	$0.6726 - 0.7400j$
135°		$0.6726 - 0.7400j$	$0.6726 - 0.7400j$	$0.6726 + 0.7400j$	$0.6726 + 0.7400j$
225°		$0.6726 + 0.7400j$	$0.6726 - 0.7400j$	$0.6726 - 0.7400j$	$0.6726 + 0.7400j$
315°		$0.6726 + 0.7400j$	$0.6726 + 0.7400j$	$0.6726 - 0.7400j$	$0.6726 - 0.7400j$

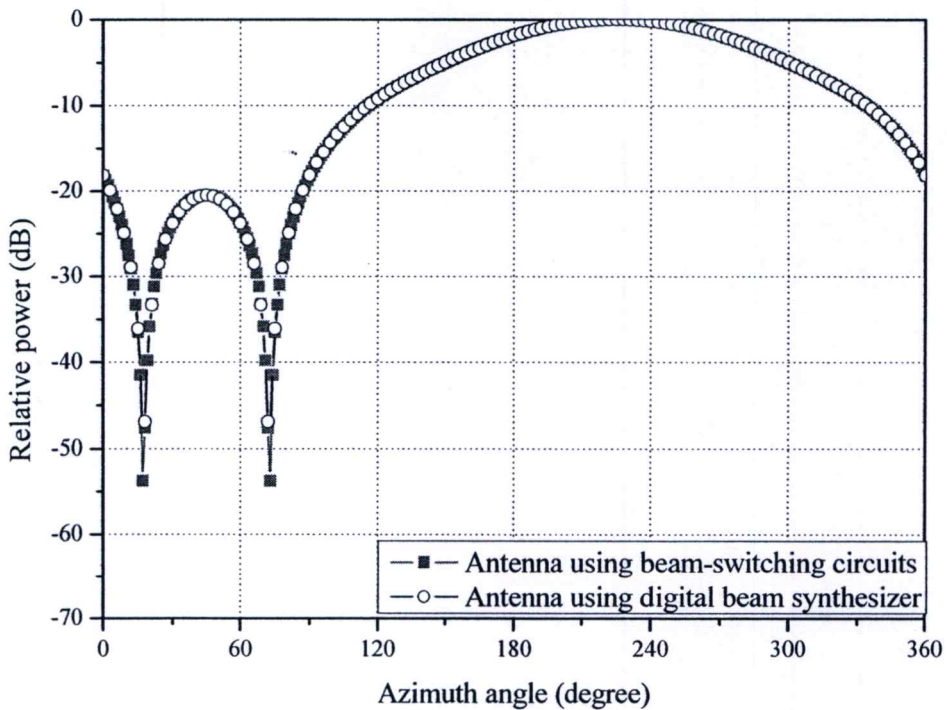
แบบรูปการแผ่พลังงานของระบบสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัลเมื่อเทียบกับแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับปรับเฟสสี่ลำคลื่นแบนราบที่ใช้วงจรเลื่อนเฟสแบบ 1 บิตเป็นตัวปรับลำคลื่นเป็นดังรูปที่ 3.1 – 3.4



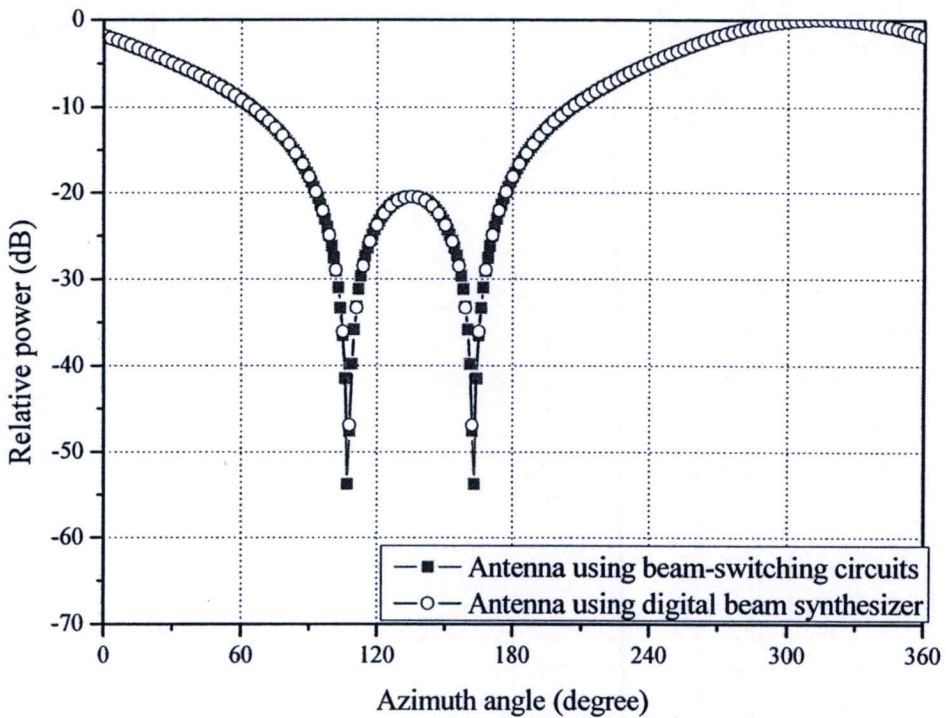
รูปที่ 3.1 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศโดยใช้วงจรเลื่อนเฟสและระบบสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัล โดยทิศทางของลำคลื่นหลักชี้ที่มุม 45 องศาในระนาบเอซิมัท



รูปที่ 3.2 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศโดยใช้วงจรเลื่อนเฟสและระบบสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัล โดยทิศทางของลำคลื่นหลักชี้ที่มุม 135 องศาในระนาบเอซิมัท



รูปที่ 3.3 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศโดยใช้วงจรเลื่อนเฟสและระบบสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัล โดยทิศทางของลำคลื่นหลักชี้ที่มุม 225 องศาในระนาบเอซิมัท



รูปที่ 3.4 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศโดยใช้วงจรถ่ายเฟสและระบบสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัล โดยทิศทางของลำคลื่นหลักชี้ที่มุม 315 องศาในระนาบเอซิมัท

จากรูปที่ 3.1-3.4 พบว่า แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่ใช้ระบบสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัลเป็นตัวปรับลำคลื่นกับแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่ใช้วงจรถ่ายเฟสแบบ 1 บิตเป็นตัวปรับลำคลื่นนั้น มีลักษณะที่เหมือนกัน โดยจะมีส่วนแตกต่างเล็กน้อยที่บริเวณนัลล์ (null) โดยแตกต่างกันประมาณ 5 dB ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าระบบการสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัลนั้นสามารถใช้ทำการปรับทิศทางของลำคลื่นหลักให้ชี้ไปในทิศทางที่ต้องการได้ และสามารถใช้งานทดแทนวงจรถ่ายเฟสได้เป็นอย่างดี

เนื่องจากการนำไปใช้กับระบบ CMA นั้น สายอากาศควรจะสามารถปรับลำคลื่นได้หลายทิศทาง เพื่อให้สามารถรับสัญญาณได้จำเพาะเจาะจงและครอบคลุมมากยิ่งขึ้น แต่วงจรถ่ายเฟสแบบ 1 บิตสามารถปรับค่าเฟสกระตุ้นได้เพียง 2 ค่า ซึ่งจะทำให้สามารถปรับลำคลื่นของสายอากาศได้เพียง 4 ทิศทาง คือที่มุม 45° , 135° , 225° และ 315° ในระนาบเอซิมัทเท่านั้น แต่เนื่องจากระบบสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัลนั้น ใช้การคูณค่าถ่วงน้ำหนักกับสัญญาณรับจากสายอากาศ จึงไม่มีข้อจำกัดในการกำหนดทิศทางในการปรับลำคลื่น ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้เลือกใช้สายอากาศแถวลำดับที่สามารถปรับลำคลื่นได้ 16 ทิศทางโดยใช้ระบบสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัลแทนวงจรถ่ายเฟส ค่าถ่วงน้ำหนักที่ใช้ในการปรับลำคลื่นซึ่งคำนวณตามค่าในตารางที่ 2.3 มีค่าดังตารางที่ 3.2

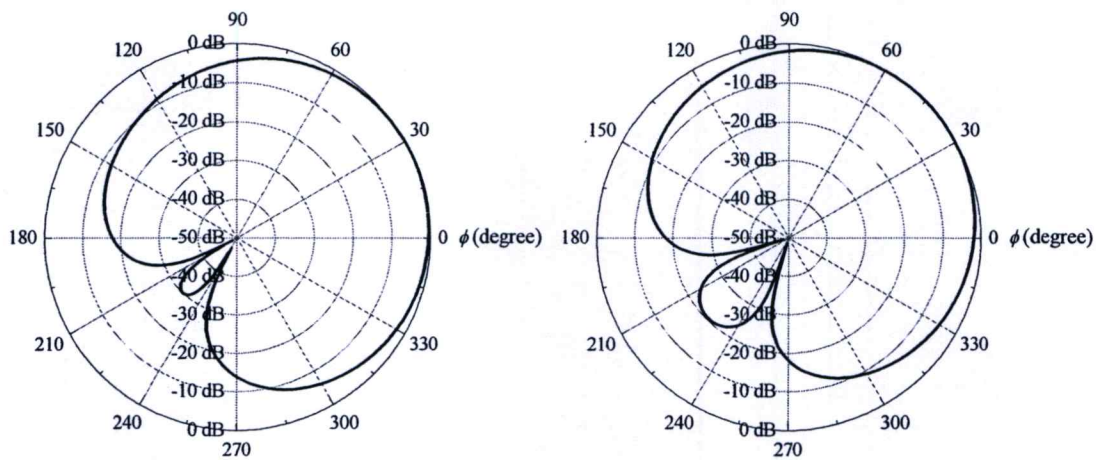
ตารางที่ 3.2 ค่าถ่วงน้ำหนักของสายอากาศแต่ละองค์ประกอบเพื่อใช้ในการสังเคราะห์ลำคลื่น 16

ทิศทาง

เฟส ทิศทาง ลำคลื่นหลัก (ϕ)	องค์ประกอบ ที่ 1	องค์ประกอบ ที่ 2	องค์ประกอบ ที่ 3	องค์ประกอบ ที่ 4
22.5°	0.9001 - 0.4357j	0.4639 + 0.8859j	0.9001 + 0.4357j	0.4639 - 0.8859j
45°	0.6726 - 0.7400j	0.6726 + 0.7400j	0.6726 + 0.7400j	0.6726 - 0.7400j
67.5°	0.4639 - 0.8859j	0.9001 + 0.4357j	0.4639 + 0.8859j	0.9001 - 0.4357j
90°	0.3827 - 0.9239j	1.0000 - 0.0000j	0.3827 + 0.9239j	1.0000 + 0.0000j
112.5°	0.4639 - 0.8859j	0.9001 - 0.4357j	0.4639 + 0.8859j	0.9001 + 0.4357j
135°	0.6726 - 0.7400j	0.6726 - 0.7400j	0.6726 + 0.7400j	0.6726 + 0.7400j
157.5°	0.9001 - 0.4357j	0.4639 - 0.8859j	0.9001 + 0.4357j	0.4639 + 0.8859j
180°	1.0000 - 0.0000j	0.3827 - 0.9239j	1.0000 - 0.0000j	0.3827 + 0.9239j
202.5°	0.9001 + 0.4357j	0.4639 - 0.8859j	0.9001 - 0.4357j	0.4639 + 0.8859j
225°	0.6726 + 0.7400j	0.6726 - 0.7400j	0.6726 - 0.7400j	0.6726 + 0.7400j
247.5°	0.4639 + 0.8859j	0.9001 - 0.4357j	0.4639 - 0.8859j	0.9001 + 0.4357j
270°	0.3827 + 0.9239j	1.0000 - 0.0000j	0.3827 - 0.9239j	1.0000 - 0.0000j
292.5°	0.4639 + 0.8859j	0.9001 + 0.4357j	0.4639 - 0.8859j	0.9001 - 0.4357j
315°	0.6726 + 0.7400j	0.6726 + 0.7400j	0.6726 - 0.7400j	0.6726 - 0.7400j
337.5°	0.9001 + 0.4357j	0.4639 + 0.8859j	0.9001 - 0.4357j	0.4639 - 0.8859j
360°	1.0000 + 0.0000j	0.3827 + 0.9239j	1.0000 - 0.0000j	0.3827 - 0.9239j

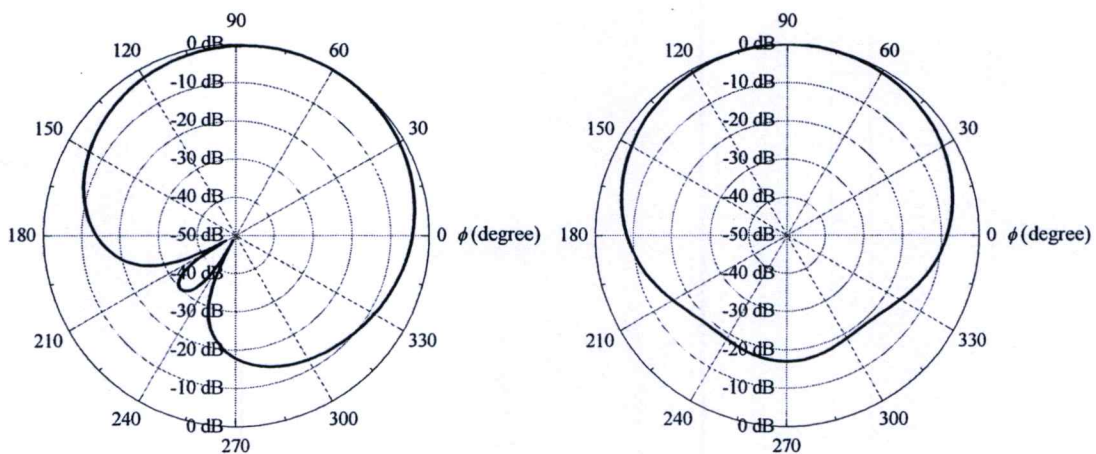
โดยแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับที่ปรับลำคลื่นในทิศทางต่างๆ เป็นดังรูปที่

3.5 – 3.8



(ก)

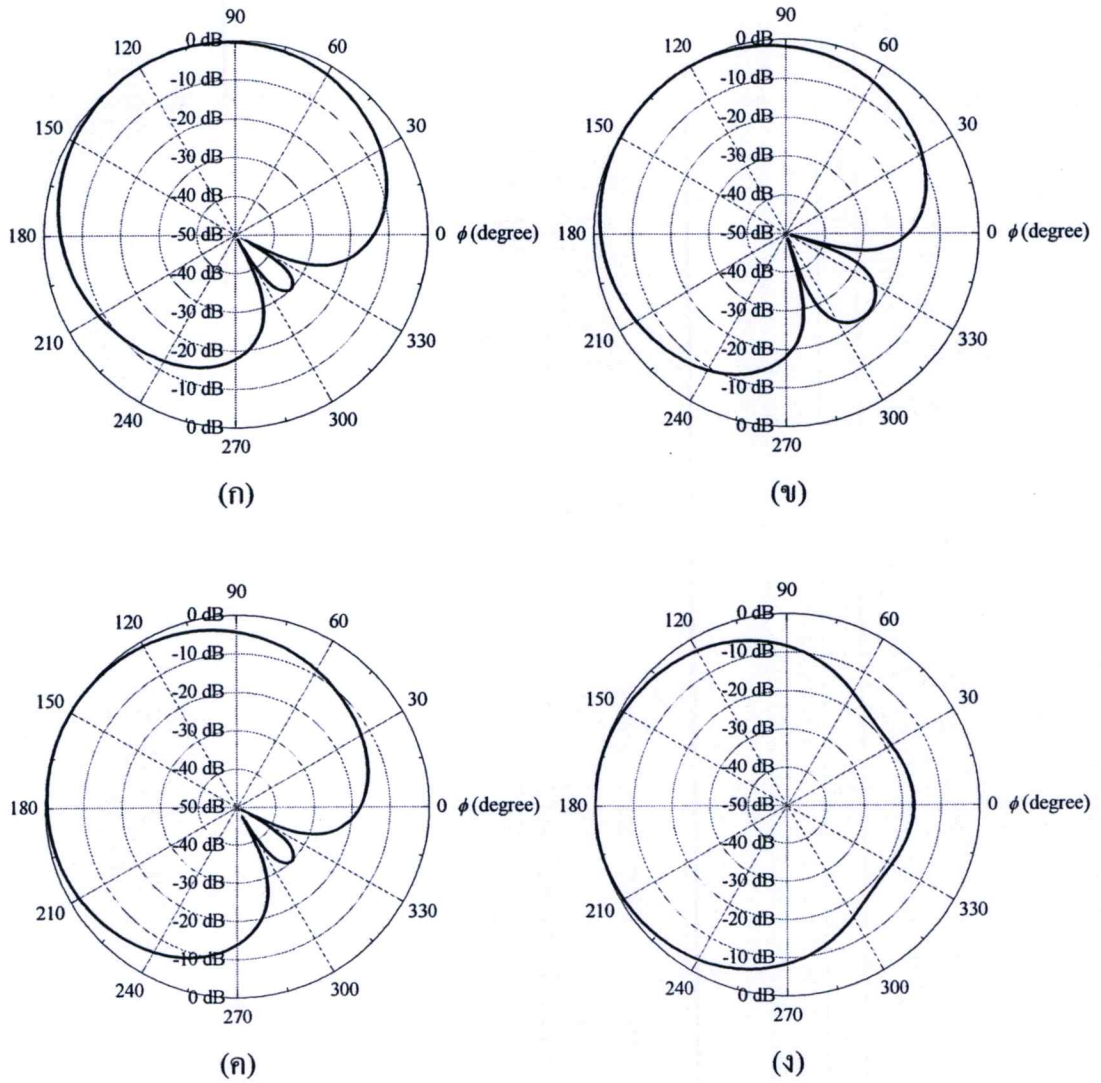
(ข)



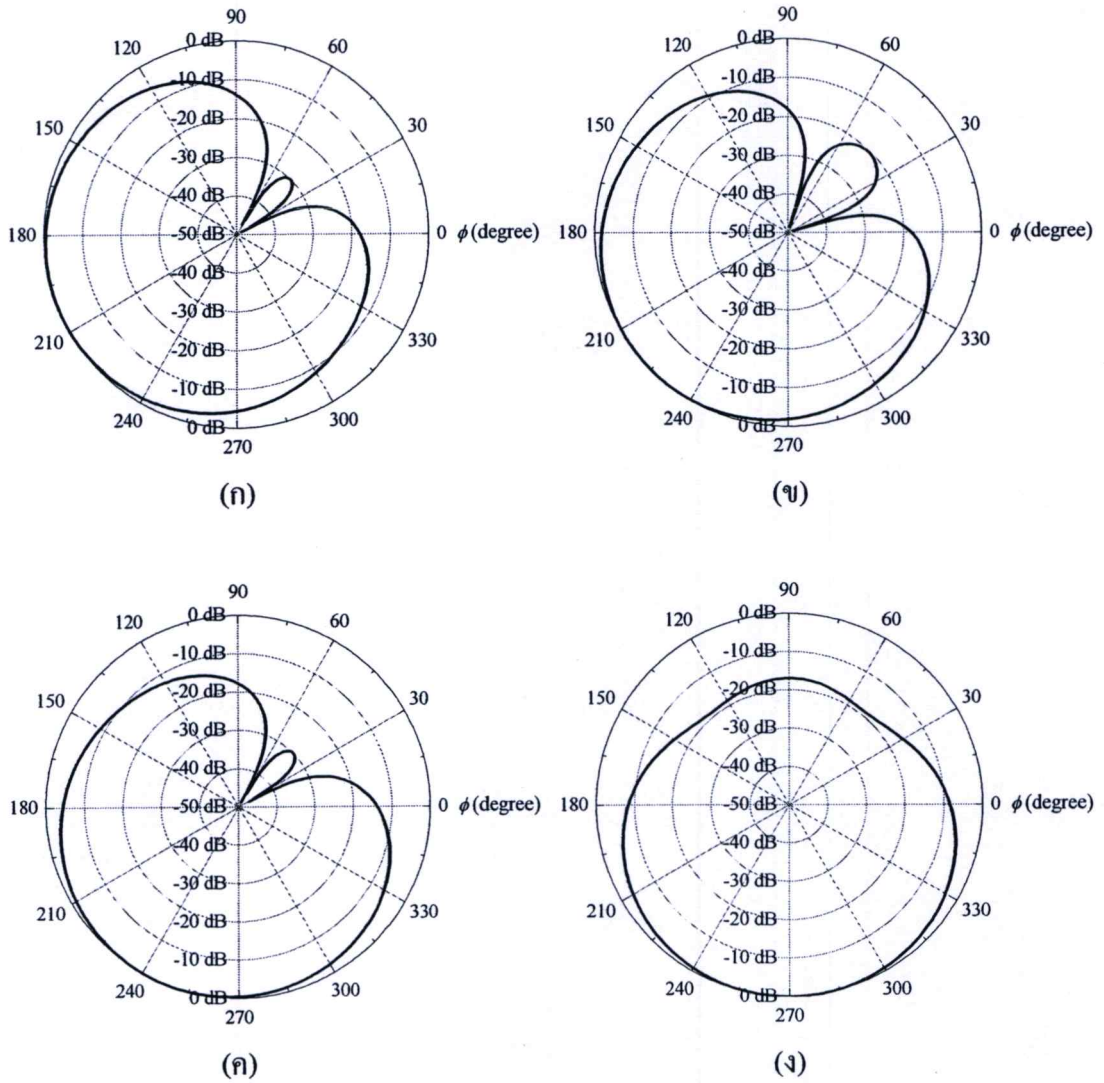
(ค)

(ง)

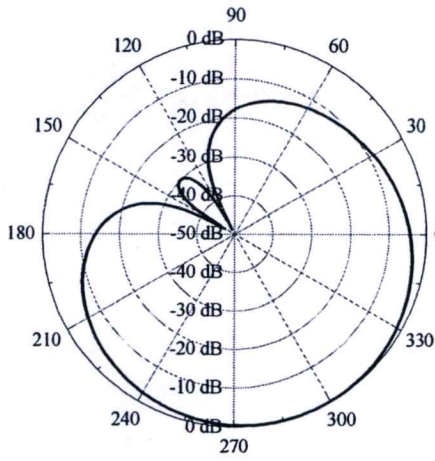
รูปที่ 3.5 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแฉวลำดับโดยใช้ระบบสังเคราะห์ลำคลื่นทาง
ดิจิตอลเป็นตัวปรับลำคลื่น โดยลำคลื่นหลักมีทิศทาง (ก) 22.5° (ข) 45° (ค) 67.5° (ง) 90°



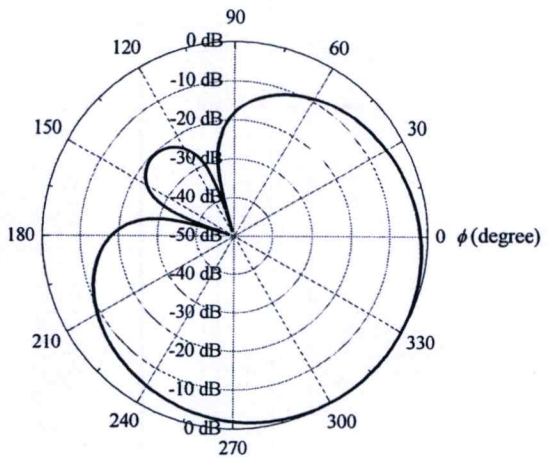
รูปที่ 3.6 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับโดยใช้ระบบสังเคราะห์ลำคลื่นทาง
 ดิจิตอลเป็นตัวปรับลำคลื่น โดยลำคลื่นหลักมีทิศทาง (ก) 112.5° (ข) 135° (ค) 157.5° (ง)
 180°



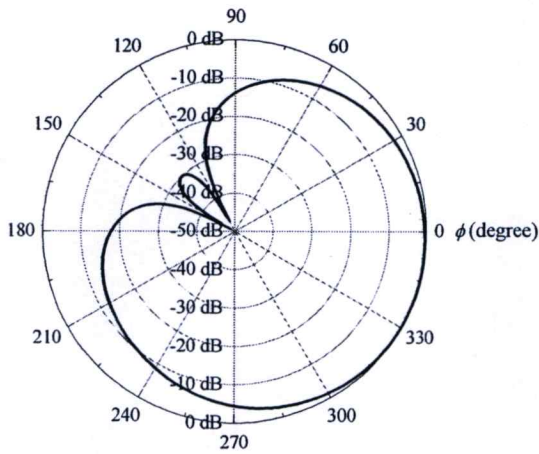
รูปที่ 3.7 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับโดยใช้ระบบสังเคราะห์ลำคลื่นทาง
 ดิจิตอลเป็นตัวปรับลำคลื่น โดยลำคลื่นหลักมีทิศทาง (ก) 202.5° (ข) 225° (ค) 247.5° (ง)
 270°



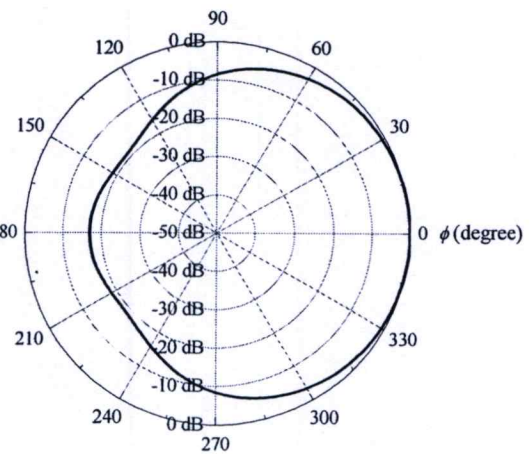
(ก)



(ข)



(ค)

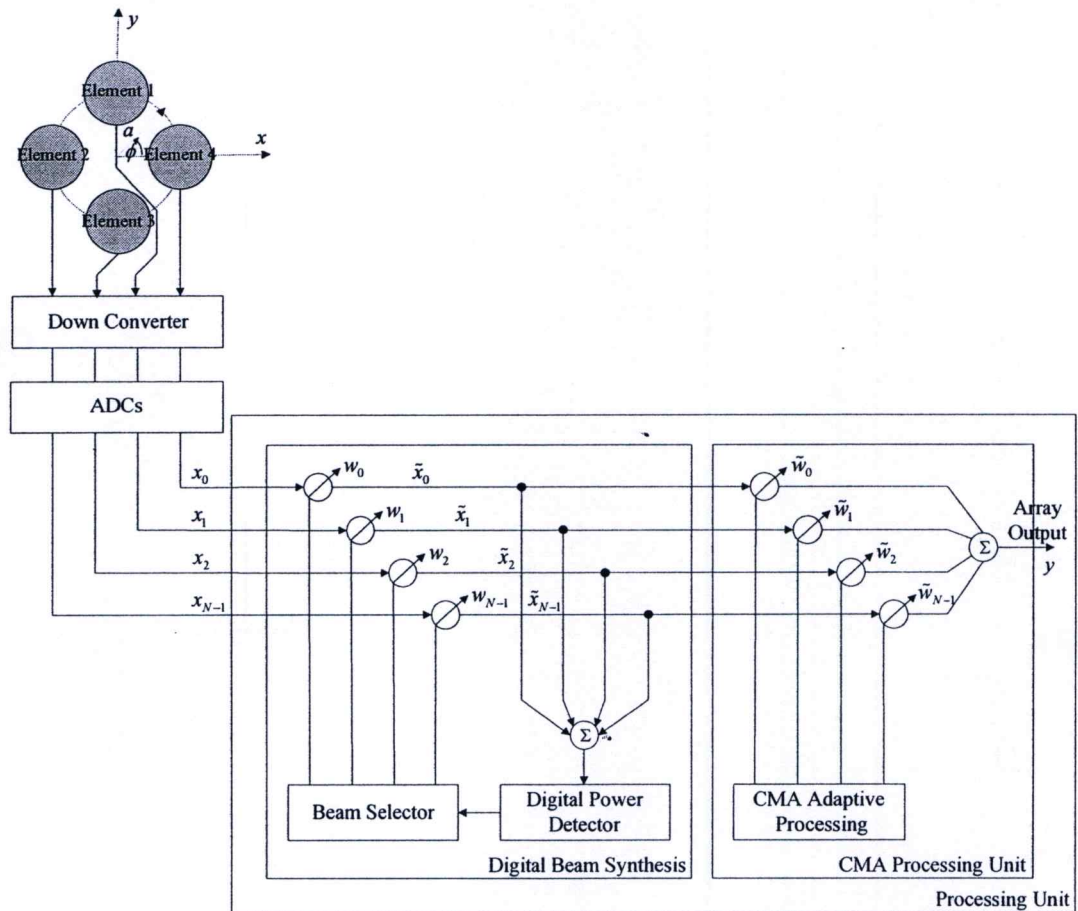


(ง)

รูปที่ 3.8 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับโดยใช้ระบบสังเคราะห์ลำคลื่นทาง
 ดิจิตอลเป็นตัวปรับลำคลื่น โดยลำคลื่นหลักมีทิศทาง (ก) 292.5° (ข) 315° (ค) 337.5° (ง)
 360°

3.3 สายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA โดยใช้การสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัลเป็นตัวเริ่มต้น

จากปัญหาความล่าช้าในการลู่เข้าของระบบสายอากาศแถวลำดับปรับตัวแบบ CMA ในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาโดยใช้วิธีการปรับลำคลื่นเริ่มต้นในการเป็นตัวเริ่มต้นให้กับระบบ เพื่อให้ระบบสามารถลู่เข้าได้เร็วยิ่งขึ้น [27] โดยโครงสร้างของระบบเป็นดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 โครงสร้างสายอากาศแถวลำดับปรับตัว CMA โดยใช้วิธีการสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัลเป็นตัวเริ่มต้น

จากรูปที่ 3.9 สัญญาณเชิงซ้อนที่รับได้จากสายอากาศองค์ประกอบที่ n จะถูกแปลงความถี่ลง (down convert) และแปลงเป็นดิจิทัลก่อนจะนำไปประมวลผลต่อไป โดยสัญญาณที่รับได้สามารถเขียนได้ดังสมการ

$$\mathbf{x}(k) = \mathbf{A}s(k) + \boldsymbol{\eta}(k) \quad (3.1)$$

เมื่อ $\mathbf{s}(k)$ และ $\boldsymbol{\eta}(k)$ เป็นสัญญาณส่งและเวกเตอร์สัญญาณรบกวน (additive noise vector) ตามลำดับ เมทริกซ์ \mathbf{A} คือผลตอบสนองของแถวลำดับ เวกเตอร์ของสัญญาณที่รับได้และผลตอบสนองของแถวลำดับสามารถเขียนได้บนพื้นฐานของหลักการของแถวลำดับวงกลมเป็น

$$\mathbf{x}(k) = [x_0(k) \ x_1(k) \ \dots \ x_{N-1}(k)]^T \quad (3.2)$$

และ

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} e^{-jk \sin \theta \cos(\phi - \phi_1)} \\ e^{-jk \sin \theta \cos(\phi - \phi_2)} \\ \vdots \\ e^{-jk \sin \theta \cos(\phi - \phi_n)} \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

โดย T และ k เป็นเวกเตอร์ทรานสโพสและค่าคงที่แพร่กระจายตามลำดับ เอาต์พุตจากวงจรแปลงอนาล็อกเป็นดิจิทัลจะถูกคูณด้วยค่าถ่วงน้ำหนักเพื่อสังเคราะห์ลำคลื่น เมื่อรวมการคูณค่าถ่วงน้ำหนักเข้ากับสมการข้างต้นแล้ว จะได้อินพุตของ CMA $\tilde{\mathbf{x}}(k)$ เป็น

$$\tilde{x}_i(k) = w_i(k) x_i(k) \ , \ i = 0, 1, \dots, N-1 \quad (3.4)$$

เมื่อค่าถ่วงน้ำหนักมีค่าเป็น

$$w_i(k) = e^{j\alpha_i} \ , \ i = 0, 1, \dots, N-1 \quad (3.5)$$

โดยที่ α เป็นค่าเฟสกระตุ้นของแต่ละองค์ประกอบของสายอากาศ ซึ่งสามารถหาได้จาก [1]

$$\alpha_n = -k \sin \theta_0 \cos(\phi - \phi_n) \quad (3.6)$$

เมื่อ θ_0 และ ϕ_0 เป็นทิศทางของลำคลื่นหลักในระนาบมุมยกและระนาบเอซิมัท ตามลำดับ ϕ_n เป็นตำแหน่งเชิงมุมขององค์ประกอบที่ n บนระนาบ xy

จากอินพุตของ CMA จะได้

$$\tilde{\mathbf{x}}(k) = [\tilde{x}_0(k) \quad \tilde{x}_1(k) \quad \dots \quad \tilde{x}_{N-1}(k)]^T \quad (3.7)$$

สัญญาณอินพุต $\tilde{x}_i(k)$ จะถูกคูณด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก $\tilde{w}_i(k)$ ดังนั้น จะได้เอาต์พุตของสายอากาศ แลวลำดับเป็น

$$\mathbf{y}(k) = \tilde{\mathbf{w}}(k)^H \tilde{\mathbf{x}}(k) \quad (3.8)$$

เมื่อ

$$\tilde{\mathbf{w}}(k) = [\tilde{w}_0(k) \quad \tilde{w}_1(k) \quad \dots \quad \tilde{w}_{N-1}(k)]^T \quad (3.9)$$

โดยที่ H เป็นเวกเตอร์คอนจูเกตทรานสโพส CMA จะปรับค่าเวกเตอร์ถ่วงน้ำหนัก $\tilde{\mathbf{w}}(k)$ ไปตามการปรับค่าฟังก์ชันจุดประสงค์ (cost function) J_{pq} ซึ่งมีค่าดังสมการ

$$J_{pq} = E \left[\left(|y(k)|^p - \sigma^p \right)^q \right] \quad (3.10)$$

ให้มีค่าน้อยที่สุด โดย p และ q เป็นจำนวนจริงบวก และ σ เป็นแอมพลิจูดของเอาต์พุตของแลวลำดับโดยปราศจากสัญญาณแทรกสอด ในการปรับค่าเพื่อหาค่าต่ำสุดของฟังก์ชัน J_{pq} นั้น จะใช้วิธีการลดหลั่นสูงสุด (steepest descent) ในการหาค่าถ่วงน้ำหนักแต่ละชั้น โดยเป็นดังสมการ

$$\tilde{\mathbf{w}}(k+1) = \tilde{\mathbf{w}}(k) - \mu \nabla J_{pq}(k) \quad (3.11)$$

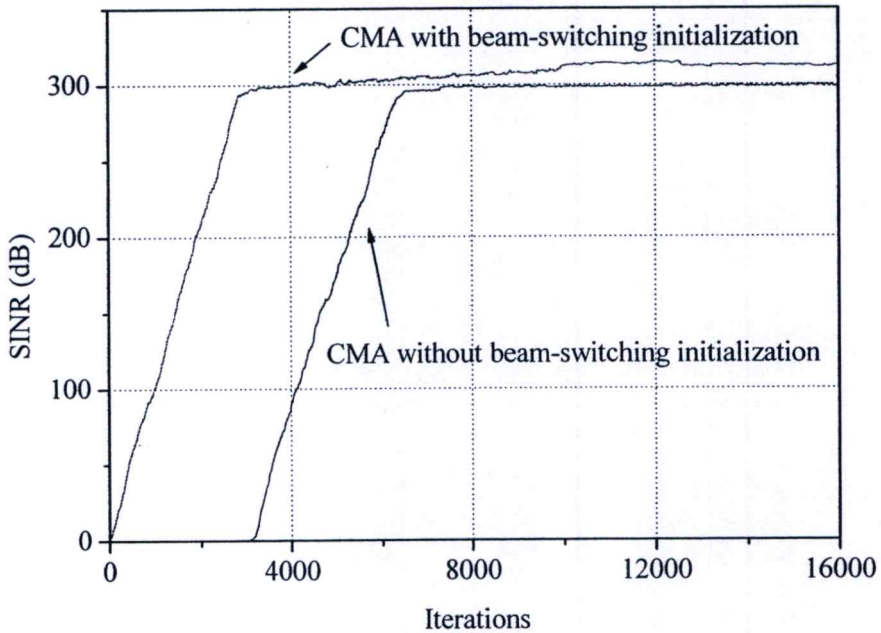
เมื่อ μ เป็นค่าคงที่ขนาดของระดับขั้น (step-size) ของการปรับตัวซึ่งควบคุมอัตราการลู่เข้าของระบบ ∇J_{pq} เป็นเกรเดียนต์ของฟังก์ชันจุดประสงค์ (cost function) ซึ่งสัมพันธ์กับ $\tilde{\mathbf{w}}(k)$ โดยในทางปฏิบัติแล้ว การหาค่าเกรเดียนต์แบบทันทีทันใดจะถูกนำมาใช้สำหรับการปรับตัว โดยให้ $p = q = 2$ ซึ่งจะทำให้ได้ค่าถ่วงน้ำหนักเป็นดังสมการ

$$\tilde{\mathbf{w}}(k+1) = \tilde{\mathbf{w}}(k) - 4\mu \tilde{\mathbf{x}}(k) y^*(k) (|y(k)|^2 - \sigma^2) \quad (3.12)$$

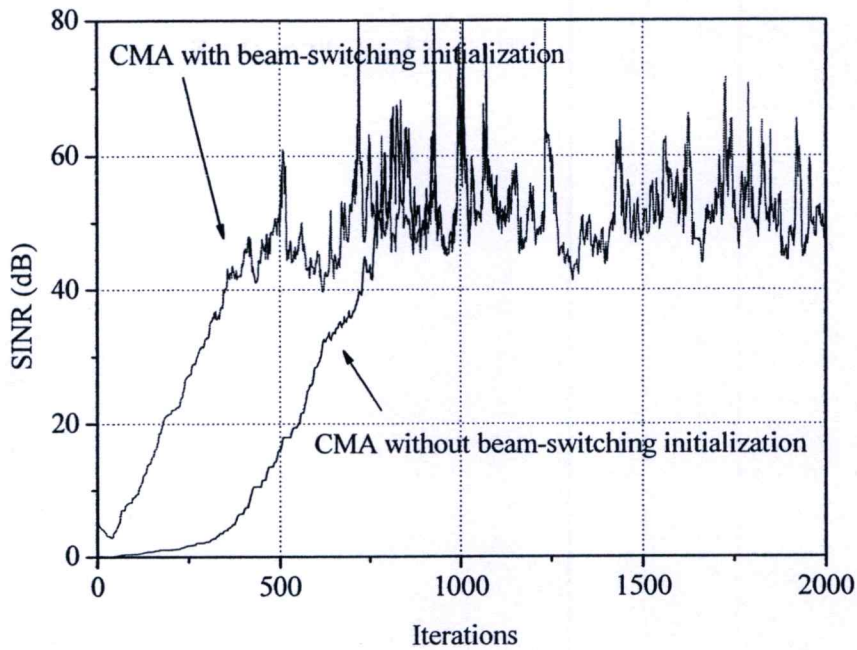
และจะถูกนำไปใช้ปรับค่าถ่วงน้ำหนักในอัลกอริทึม CMA ต่อไป

3.3.1 การจำลองระบบ

ในการจำลองนั้น ได้ทำการจำลองโดยกำหนดให้สัญญาณพึงประสงค์และสัญญาณแทรกสอดเป็นอิสระต่อกัน โดยมีการมอดูเลตแบบ $\pi/4$ -QPSK ส่งผ่านช่องสัญญาณ additive white Gaussian noise (AWGN) สัญญาณทั้งสองมีอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (signal to noise ratio : SNR) 30 dB และเนื่องจากในสภาพใช้งานจริงสัญญาณแทรกสอดจะมีกำลังงานน้อยกว่าสัญญาณพึงประสงค์เนื่องมาจากการจางหายของสัญญาณ ดังนั้น ในการจำลองนี้จึงกำหนดให้สัญญาณแทรกสอดมีกำลังงานน้อยกว่าสัญญาณพึงประสงค์ 3 dB เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพในการใช้งานจริง โดยสัญญาณพึงประสงค์และสัญญาณแทรกสอดมีมุมตกกระทบ 30° และ 120° ตามลำดับ

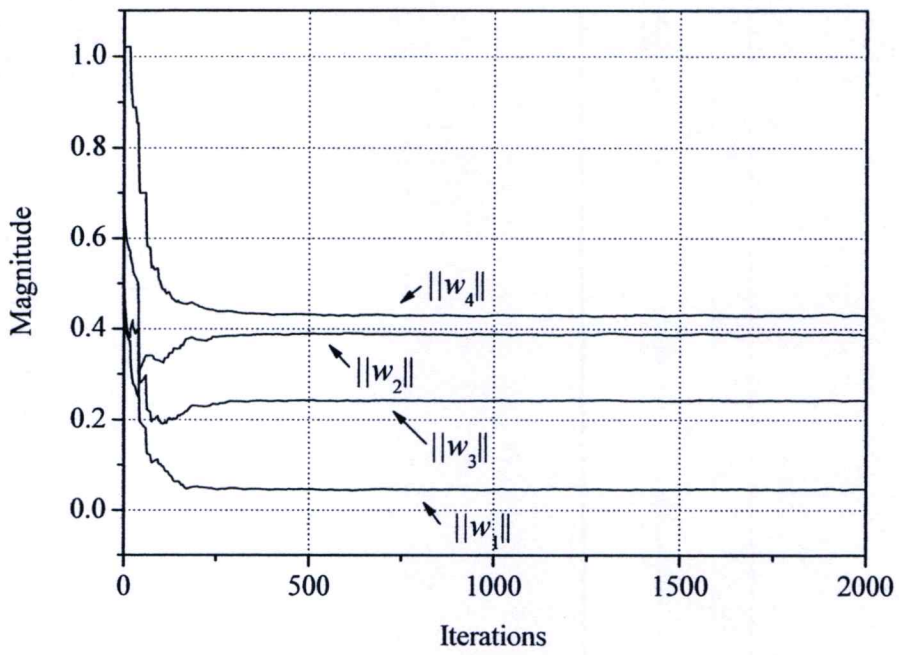


รูปที่ 3.10 แนววิถีอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวน (SINR) ของ CMA โดยไม่มีสัญญาณรบกวนในระบบ

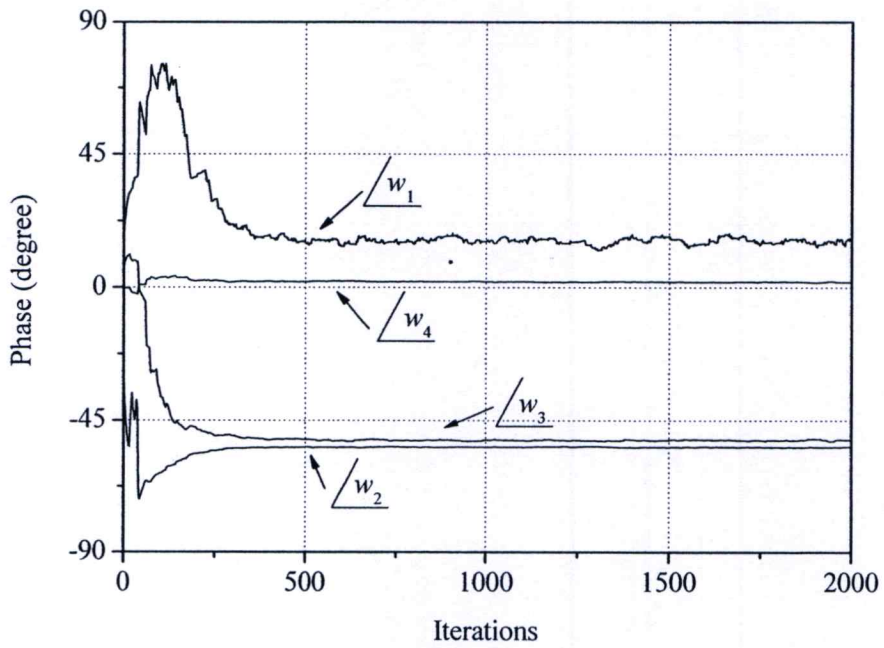


รูปที่ 3.11 แนววิถีอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวน (SINR) ของ CMA โดยมีสัญญาณรบกวนในระบบ

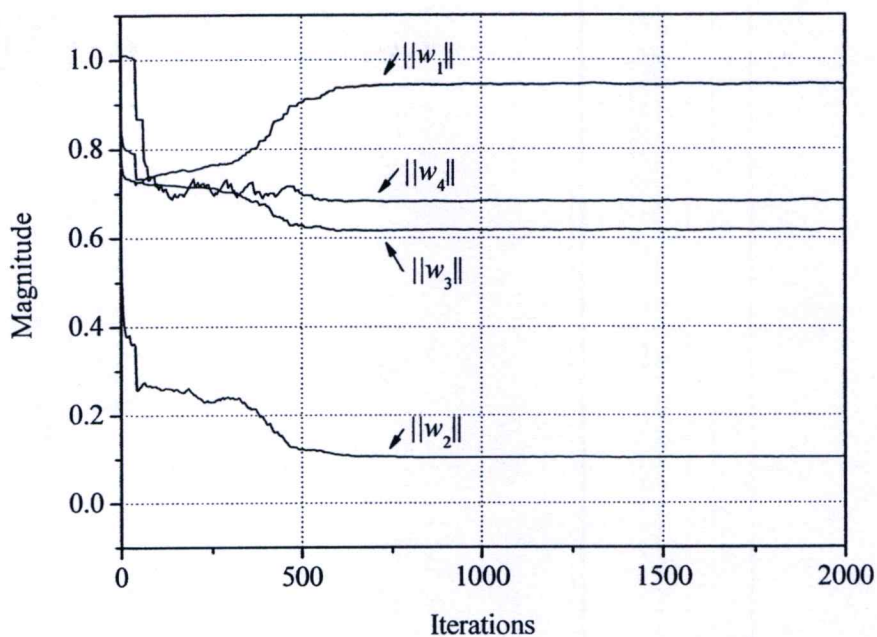
จากแนววิถีอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวน (SINR trajectories) ของ CMA ในกรณีที่ไม่มีสัญญาณรบกวนและมีสัญญาณรบกวนในระบบ ดังรูปที่ 3.10 และรูปที่ 3.11 ตามลำดับ จะเห็นว่า ในกรณีที่ไม่มีสัญญาณรบกวน ระบบสายอากาศแฉวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA โดยไม่มีการปรับลำดับเป็นตัวเริ่มต้นมีการลู่เข้าหลังการทำซ้ำครั้งที่ 3000 ในขณะที่ระบบสายอากาศแฉวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA โดยไม่มีการปรับลำดับเป็นตัวเริ่มต้นซึ่งมีการลู่เข้าหลังการทำซ้ำครั้งที่ 7000 ในกรณีที่มีสัญญาณรบกวน ระบบสายอากาศแฉวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA โดยไม่มีการปรับลำดับเป็นตัวเริ่มต้นมีการลู่เข้าหลังการทำซ้ำครั้งที่ 500 ในขณะที่ระบบสายอากาศแฉวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA โดยไม่มีการปรับลำดับเป็นตัวเริ่มต้นซึ่งมีการลู่เข้าหลังการทำซ้ำครั้งที่ 800 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ระบบสายอากาศแฉวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA โดยไม่มีการปรับลำดับเป็นตัวเริ่มต้นมีการลู่เข้าที่เร็วกว่าระบบสายอากาศแฉวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA โดยไม่มีการปรับลำดับเป็นตัวเริ่มต้น



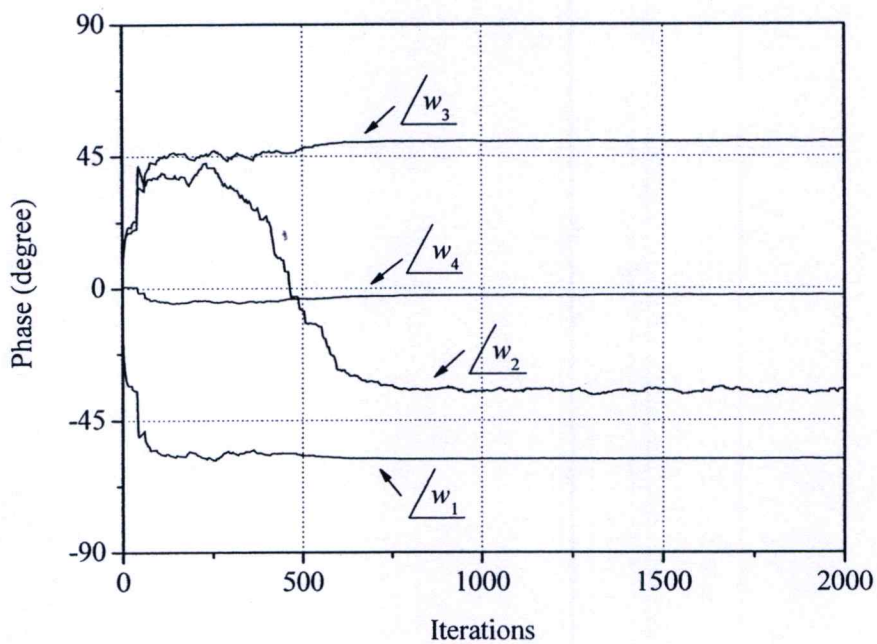
รูปที่ 3.12 ขนาดของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA โดยใช้การปรับค่าคี่เป็นตัวเริ่มต้น



รูปที่ 3.13 เฟสของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA โดยใช้การปรับค่าคี่เป็นตัวเริ่มต้น



รูปที่ 3.14 ขนาดของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA โดยไม่มีการปรับค่าคลื่น

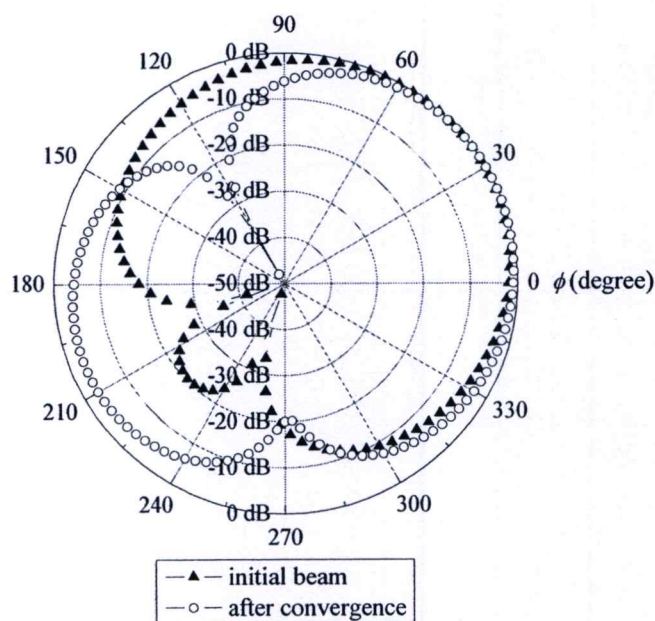


รูปที่ 3.15 เฟสของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA โดยไม่มีการปรับค่าคลื่น

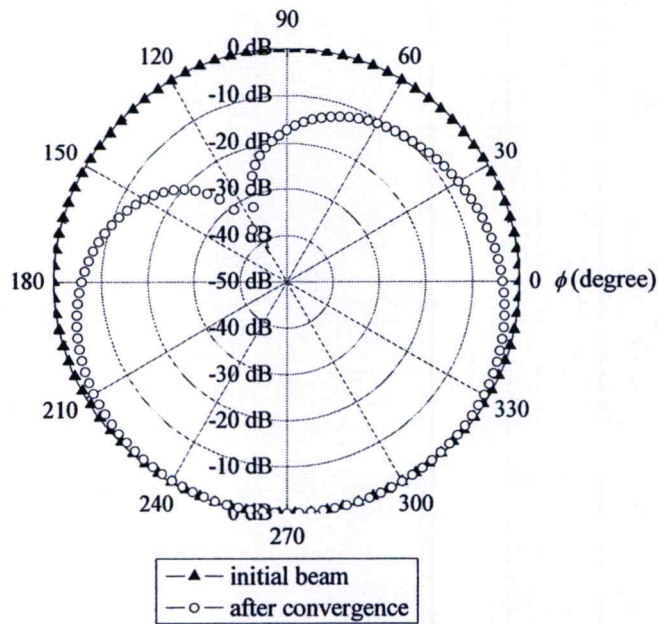
รูปที่ 3.12 -3.15 แสดงถึงขนาดและเฟสของค่าถ่วงน้ำหนักของระบบสายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA โดยไม่มีการปรับค่าคลื่นเป็นต้นและไม่มีค่าปรับค่าคลื่น

ตามลำดับ จากรูปพบว่า ระบบ CMA จะปรับทั้งขนาดและเฟสของค่าถ่วงน้ำหนักไปจนกระทั่งเกิดการลู่เข้าหาค่าตอบ โดยค่าของค่าถ่วงน้ำหนักหลังจากลู่เข้าแล้วของระบบสายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA โดยใช้การปรับลำดับเป็นตัวเริ่มต้นมีค่าแตกต่างจากระบบสายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA โดยไม่มีการปรับลำดับ และทำให้คำตอบของระบบทั้งสองมีความแตกต่างกัน ซึ่งเป็นสิ่งยืนยันได้ว่าคำตอบและพฤติกรรมการลู่เข้าของระบบสายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA นั้นขึ้นอยู่กับค่าเริ่มต้นของระบบ

รูปที่ 3.16 แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA โดยใช้การปรับลำดับที่มีทิศทางของลำคลื่นหลักที่ 45° และรูปที่ 3.17 แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA โดยไม่มีการปรับลำดับ จากรูปทั้งสองจะเห็นว่าแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศหลังจากลู่เข้าแล้วจะมีนัลล์ที่มุม 120° ซึ่งเป็นทิศทางของสัญญาณแทรกสอด ซึ่งทำให้สามารถกำจัดสัญญาณแทรกสอดที่ไม่ต้องการได้



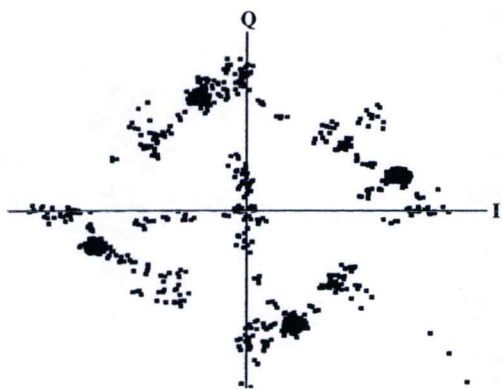
รูปที่ 3.16 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA โดยใช้การปรับลำดับเป็นตัวเริ่มต้น



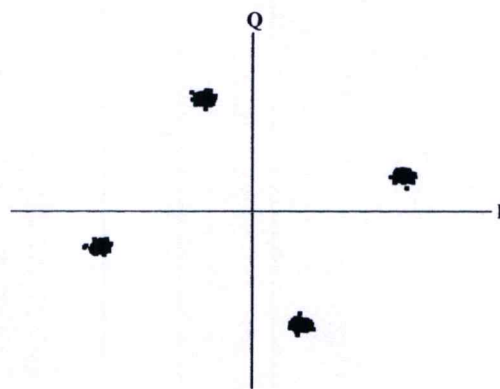
รูปที่ 3.17 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA โดยไม่มีการปรับลำคลื่น



รูปที่ 3.18 แผนภาพกลุ่มดาว (constellation diagram) ของสายอากาศแวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA โดยใช้การปรับลำคลื่นเป็นตัวเริ่มต้น หลังการทำซ้ำครั้งที่ (ก) 0 (ข) 500



(ก)

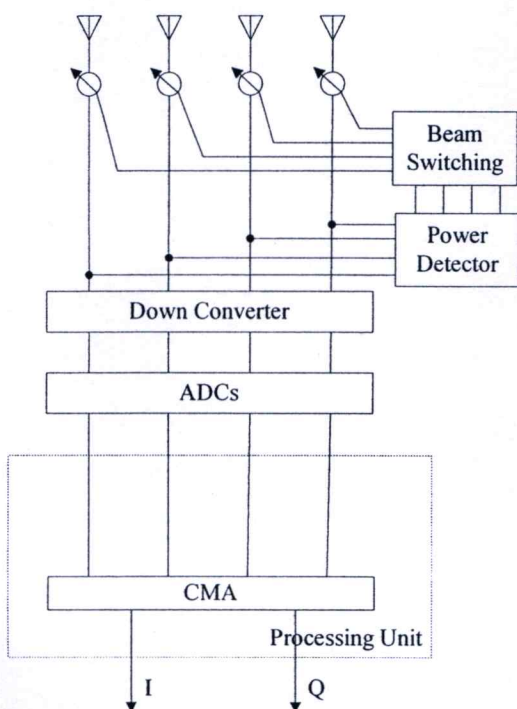


(ข)

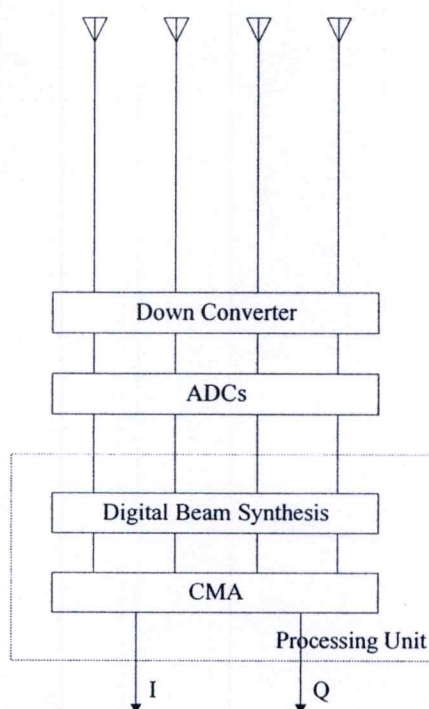
รูปที่ 3.19 แผนภาพกลุ่มดาว (constellation diagram) ของสายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA โดยไม่ใช้การปรับลำคลื่น หลังการทำซ้ำครั้งที่ (ก) 0 (ข) 800

จากแผนภาพกลุ่มดาว (constellation diagram) ของสายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA ดังรูปที่ 3.18-3.19 พบว่า หลังจากทีระบบมีการลู่เข้าแล้ว สัญญาณแทรกสอดจะถูกกำจัดออกไปจากสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศ

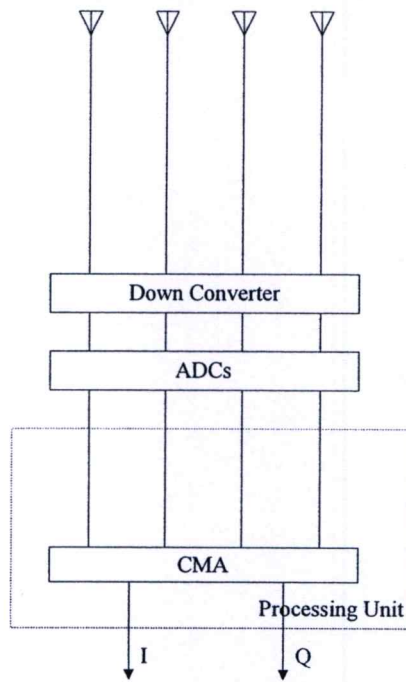
เมื่อทำการจำลองระบบสายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA โดยเปรียบเทียบระบบที่ใช้วงจรเลื่อนเฟสในการปรับลำคลื่น กับระบบที่ใช้ระบบสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัล และระบบที่ไม่ใช้การปรับลำคลื่น ซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่ 3.20 ได้ผลดังรูปที่ 3.21-3.22



(ก)

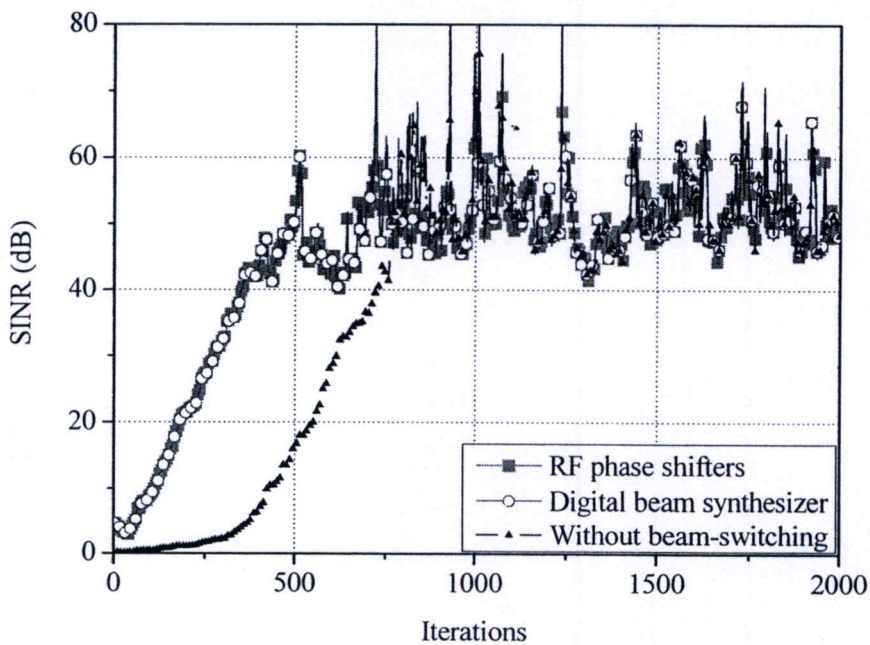


(ข)

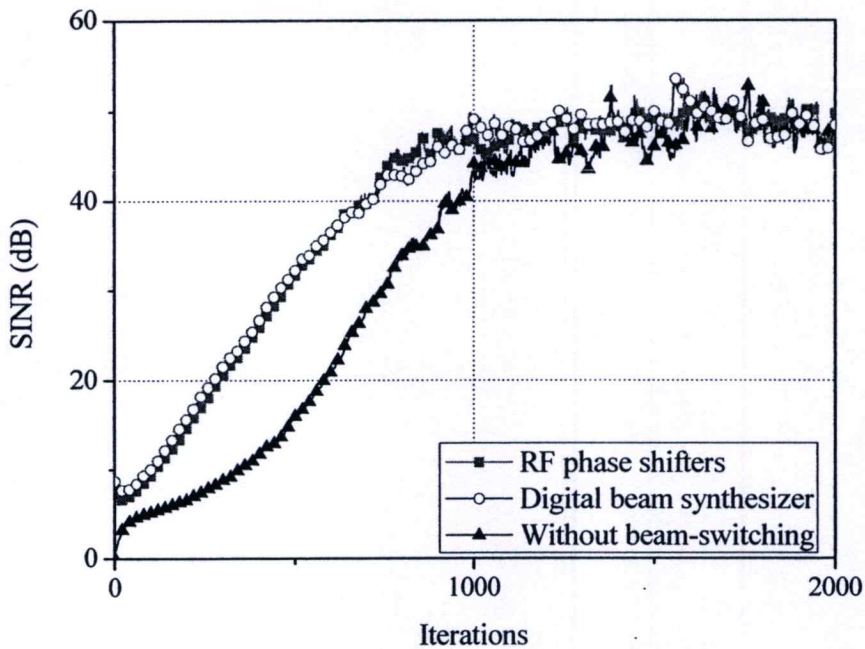


(ค)

รูปที่ 3.20 โครงสร้างสายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA โดย (ก) ระบบที่ใช้วงจรเลื่อนเฟสในการปรับลำคลื่น (ข) ระบบที่ใช้ระบบสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัล (ค) ระบบที่ไม่ใช้การปรับลำคลื่น



รูปที่ 3.21 แนววิถีอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวน (SINR) ของ CMA เมื่อใช้วงจรเลื่อนเฟส ระบบสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัล และไม่ใช้การปรับลำคลื่น



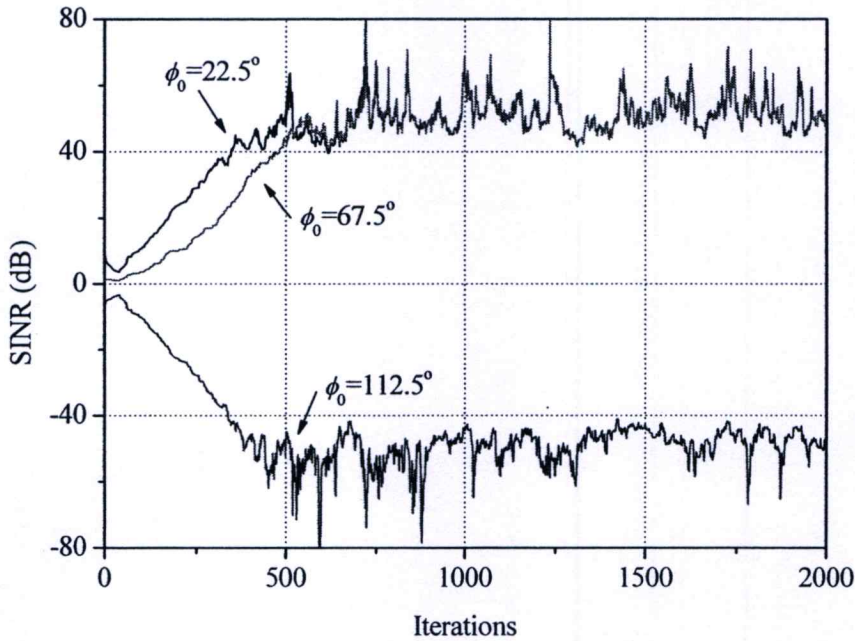
รูปที่ 3.22 แนววิถีอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวน (SINR) เฉลี่ย 20 ครั้ง ของ CMA เมื่อใช้วงจรเลื่อนเฟส ระบบสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัล และไม่ใช้การปรับลำคลื่น

จากรูปที่ 3.21 พบว่าสายอากาศแฉวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA โดยใช้วงจรเลื่อนเฟสในการปรับลำคลื่น กับระบบที่ใช้ระบบสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัลเป็นตัวเริ่มต้นมีการลู่อเข้าหลังการทำซ้ำครั้งที่ 500 เหมือนกัน โดยเร็วกว่าสายอากาศแฉวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA โดยไม่ใช้การปรับลำคลื่นเป็นตัวเริ่มต้น ซึ่งมีการลู่อเข้าหลังการทำซ้ำครั้งที่ 800 และจากแนววิถีอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวนเฉลี่ยจากการจำลอง 20 ครั้ง ของ CMA ดังรูปที่ 3.22 พบว่าระบบสายอากาศแฉวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA ที่ใช้วงจรเลื่อนเฟสและระบบที่ใช้ระบบสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัลมีการลู่อเข้าหลังการทำซ้ำครั้งที่ 700 โดยเร็วกว่าระบบที่ไม่ใช้การปรับลำคลื่น ซึ่งมีการลู่อเข้าหลังการทำซ้ำครั้งที่ 1000 จากผลที่ได้ สรุปได้ว่า ระบบสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัลสามารถใช้งานทดแทนวงจรเลื่อนเฟสได้เป็นอย่างดี และยังสามารถใช้ในการปรับลำคลื่นเริ่มต้นให้กับระบบสายอากาศแฉวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA เพื่อให้สามารถลู่อเข้าได้เร็วยิ่งขึ้นอีกด้วย

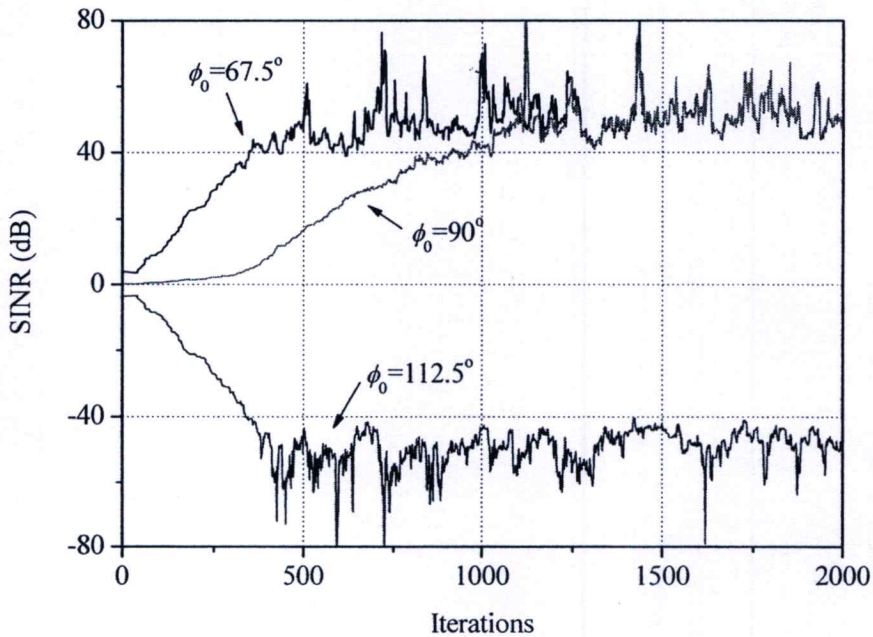
3.3.2 การปรับลำคลื่นเริ่มต้นของระบบสายอากาศแฉวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA

เมื่อทำการจำลองระบบสายอากาศแฉวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA โดยทำการปรับลำคลื่นเริ่มต้นไปยังทิศทางต่างๆ โดยแบ่งการจำลองออกเป็นสองกรณี คือ กรณีแรกกำหนดให้

มุมตกกระทบของสัญญาณพึงประสงค์และสัญญาณแทรกสอดเป็น 30° และ 120° ตามลำดับ ส่วนกรณีที่สองกำหนดให้มุมตกกระทบของสัญญาณพึงประสงค์และสัญญาณแทรกสอดเป็น 60° และ 120° ตามลำดับ ผลที่ได้เป็นดังรูปที่ 3.23 – 3.24

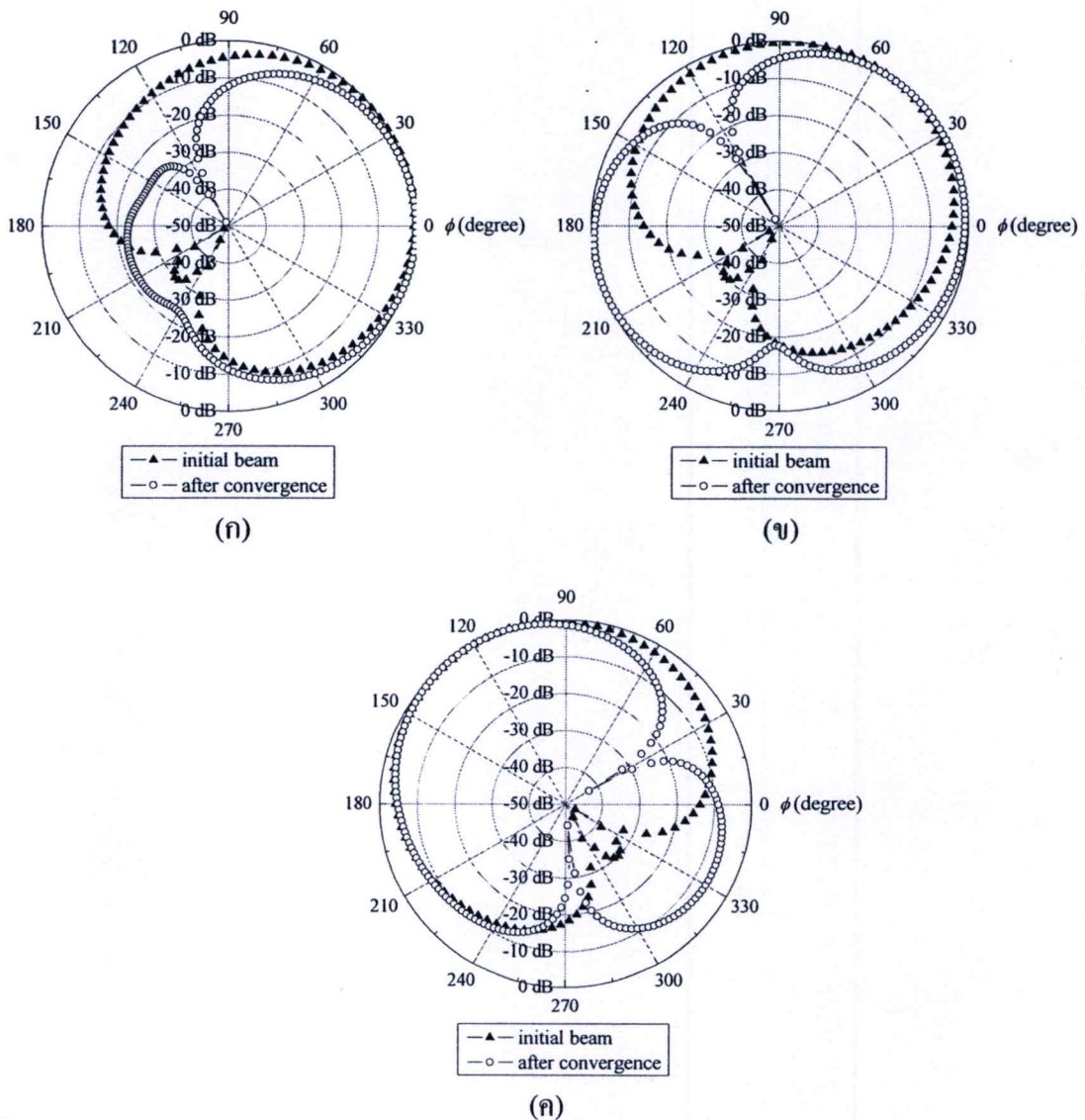


รูปที่ 3.23 แนววิถีอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวน (SINR) ของ CMA ในกรณีแรก เมื่อทิศทางลำคลื่นหลักของลำคลื่นเริ่มต้นมีค่าเป็น 22.5° , 67.5° และ 112.5°

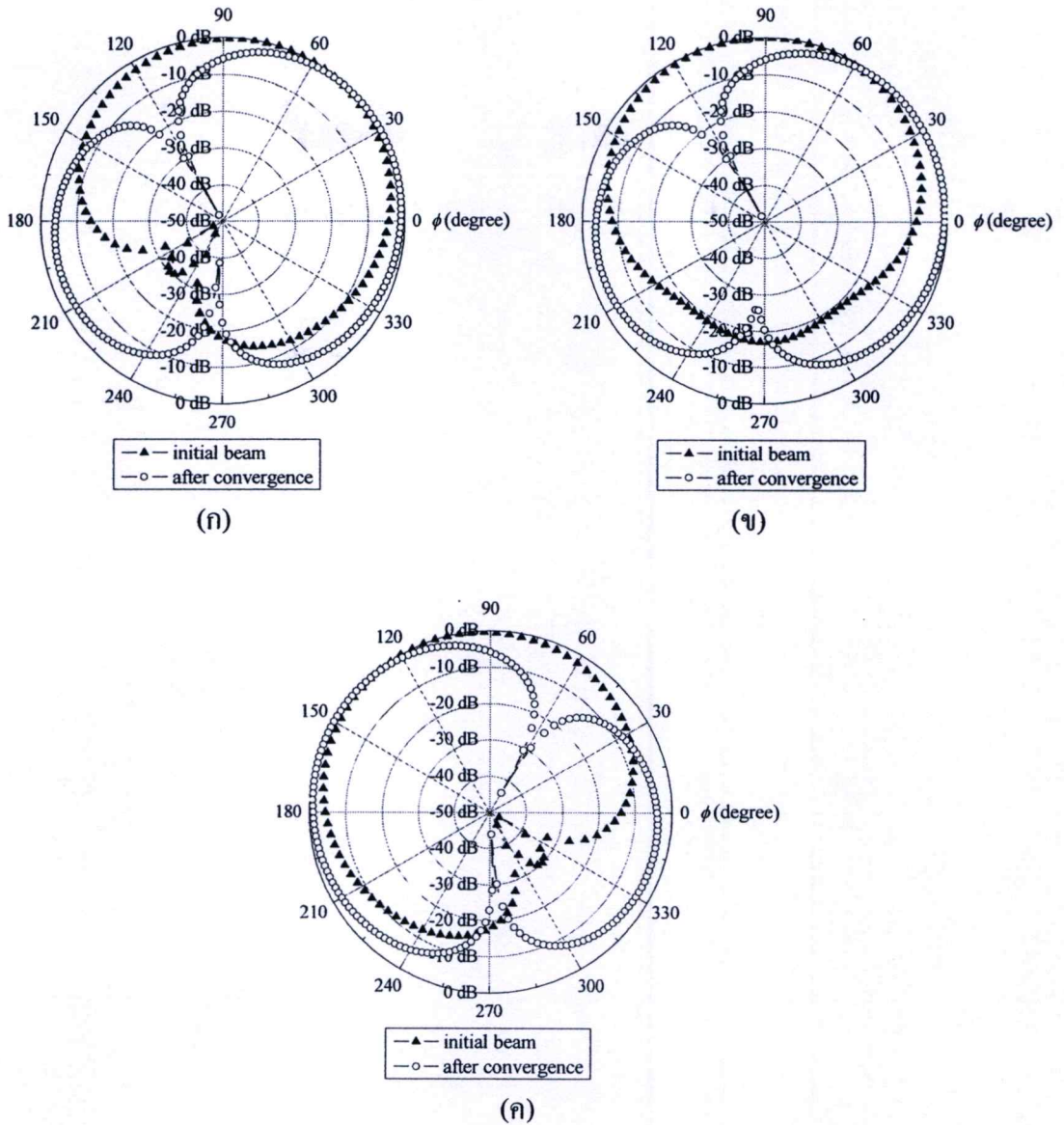


รูปที่ 3.24 แนววิถีอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวน (SINR) ของ CMA ในกรณีที่สอง เมื่อทิศทางลำคลื่นหลักของลำคลื่นเริ่มต้นมีค่าเป็น 67.5° , 90° และ 112.5°

เมื่อพิจารณาผลที่ได้จากทั้งสองกรณี พบว่า เมื่อปรับทิศทางของลำคลื่นหลักให้ชี้ไปในทิศทางใกล้เคียงกับทิศทางของมุมตกกระทบของสัญญาณพึงประสงค์ คือมุม 22.5° ในกรณีแรกและมุม 67.5° ในกรณีที่สอง ซึ่งระบบสามารถรับสัญญาณพึงประสงค์ได้โดยทั้งสองกรณีระบบมีการลู่อเข้าหลังการทำซ้ำครั้งที่ 500 แต่เมื่อปรับทิศทางของลำคลื่นหลักของลำคลื่นเริ่มต้นให้ห่างจากมุมตกกระทบของสัญญาณพึงประสงค์มากขึ้น เป็น 67.5° ในกรณีแรก และ 90° ในกรณีที่สอง พบว่าระบบมีการลู่อเข้าที่ช้าลง โดยในกรณีแรกระบบมีการลู่อเข้าหลังการทำซ้ำครั้งที่ 700 และมีการลู่อเข้าหลังการทำซ้ำครั้งที่ 1200 ในกรณีที่สอง และเมื่อปรับทิศทางของลำคลื่นหลักของลำคลื่นเริ่มต้นให้เข้าใกล้มุมตกกระทบของสัญญาณแทรกสอด คือในทิศทาง 112.5° ในทั้งสองกรณี พบว่า ระบบจะทำงานผิดพลาด โดยเลือกรับสัญญาณพึงประสงค์แทนสัญญาณแทรกสอด



รูปที่ 3.25 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแฉกลำดับปรับด้วยอัลกอริทึม CMA ในกรณีแรก โดยลำคลื่นเริ่มต้นมีทิศทางของลำคลื่นหลักเป็น (ก) 22.5° (ข) 67.5° (ค) 112.5°



รูปที่ 3.26 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแฉวลำดับปรับด้วยอัลกอริทึม CMA ในกรณีที่สอง โดยลำคลื่นเริ่มต้นมีทิศทางของลำคลื่นหลักเป็น (ก) 67.5° (ข) 90° (ค) 112.5°

เพื่อยืนยันการทำงานของระบบ จึงได้นำแบบรูปการแผ่พลังงานหลังจากระบบมีการถูเข้ามาร่วมพิจารณาด้วย โดยแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแฉวลำดับปรับด้วยอัลกอริทึม CMA เป็นดังรูปที่ 3.25-3.26

จากแบบรูปการแผ่พลังงานของทั้งสองกรณี จะเห็นได้ว่า แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแฉวลำดับปรับด้วยอัลกอริทึม CMA โดยมีทิศทางของลำคลื่นหลักของลำคลื่นเริ่มต้นเป็น 22.5° , 67.5° และ 90° หลังจากระบบมีการถูเข้าแล้ว มีนัลล์เกิดขึ้นในทิศทาง 120° ซึ่งเป็นทิศทางของมุมตกกระทบของสัญญาณแทรกสอด ทำให้สามารถกำจัดสัญญาณแทรกสอดได้ แต่แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแฉวลำดับปรับด้วยอัลกอริทึม CMA โดยมีทิศทางของลำคลื่นหลักของ

ลำคลื่นเริ่มต้นเป็น 112.5° กลับมีทิศทางของลำคลื่นหลักชี้ในทิศทาง 120° และมีนัลล์เกิดขึ้นที่ ทิศทาง 30° ซึ่งเป็นทิศทางของสัญญาณพึงประสงค์ จึงทำให้ระบบเลือกรับสัญญาณแทรกสอดและ กำจัดสัญญาณพึงประสงค์แทน และเมื่อพิจารณาถึงผลตอบสนองรวมของระบบ จากสมการ

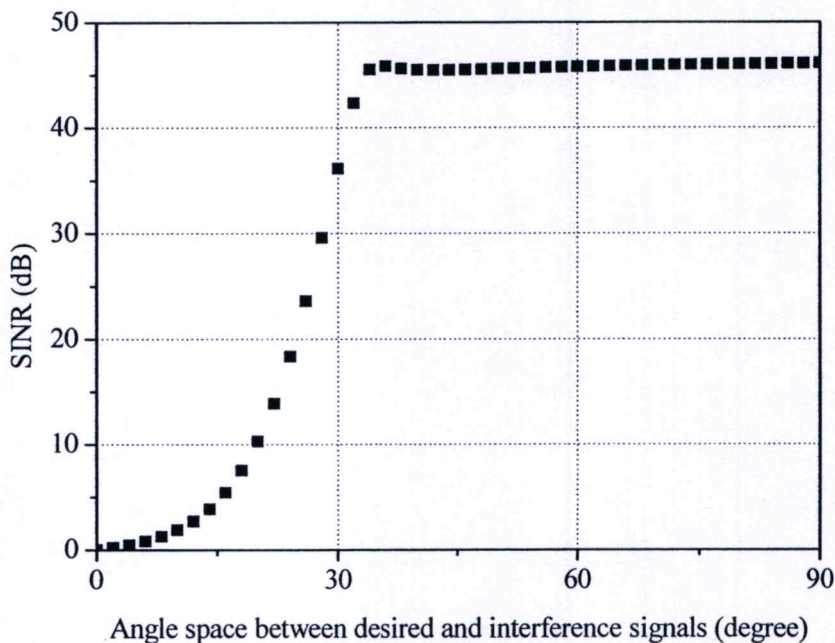
$$\mathbf{q} = \mathbf{w}^H \mathbf{H} \quad (3.1)$$

เมื่อ \mathbf{H} แทนคอนจูเกตทรานโพสของเวกเตอร์ \mathbf{w} และ \mathbf{H} เป็นเวกเตอร์ของค่าถ่วงน้ำหนักและ ผลตอบสนองแถวลำดับตามลำดับ โดยจากสมการข้างต้น สามารถเขียนค่า \mathbf{q} ในรูปแบบเชิงขั้วได้ เป็น $\mathbf{q} = [Ae^{j\theta} \ 0]$ หรือ $\mathbf{q} = [0 \ Ae^{j\theta}]$ โดยขึ้นอยู่กับสายอากาศว่าจะสามารถรับสัญญาณพึงประสงค์ หรือสัญญาณแทรกสอดได้ จากการจำลองข้างต้นพบว่า ในกรณีแรก เมื่อปรับลำคลื่นเริ่มต้นให้มี ทิศทาง 22.5° , 67.5° และ 112.5° จะได้ค่าถ่วงน้ำหนักหลังจากลู่อเข้าเป็น $[0.2197-0.1875j$ $0.2332-0.2015j$ $0.2430+0.0663j$ $0.3024-0.0076j]^T$, $[-0.0846+0.1586j$ $0.0847-0.3609j$ $0.1538-$ $0.3850j$ $0.5520+0.0449j]^T$, $[0.1250+0.2276j$ $0.2221+0.2259j$ $0.1679-0.0543j$ $0.3790+0.0378j]^T$ ซึ่งจะทำให้ได้ $\mathbf{q} = [0.9431+0.3173j$ $0.0012-0.0039j]^T$, $[0.5546+0.8261j$ $0.0033-0.0024j]^T$, $[-0.0061-0.0042j$ $0.8902-0.4560j]^T$ หรือ $\mathbf{q} = [0.9950e^{j0.3246}$ $0.0041e^{-j1.2749}]$, $[0.9950e^{j0.9795}$ $0.0041e^{-j0.6203}]$, $[0.0074e^{-j2.5402}$ $1.0002e^{-j0.4734}]$ ในรูปแบบเชิงขั้ว ตามลำดับ และใน กรณีที่สอง เมื่อปรับลำคลื่นเริ่มต้นให้มีทิศทาง 67.5° , 90° และ 112.5° จะได้ค่าถ่วงน้ำหนักหลังจาก ลู่อเข้าเป็น $[0.0793-0.0214j$ $0.0793-0.4438j$ $0.0979-0.1507j$ $0.4935+0.0870j]^T$, $[-0.0448 +$ $0.0299j$ $-0.2846-0.2490j$ $0.0095-0.3093j$ $0.5788+0.0216j]^T$, $[0.0891+0.1552j$ $0.0689+0.4509j$ $0.0827+0.0243j$ $0.4959-0.0769j]^T$ ซึ่งจะทำให้ได้ $\mathbf{q} = [0.8093+0.5790j$ $0.0016-0.0041j]^T$, $[0.3045+0.9474j$ $0.0037-0.0023j]^T$, $[-0.0065-0.0031j$ $0.7906-0.6118j]^T$ หรือ $\mathbf{q} = [0.9951e^{j0.6211}$ $0.0044e^{-j1.2046}]$, $[0.9951e^{j1.2598}$ $0.0044e^{-j0.5669}]$, $[0.0072e^{-j2.6912}$ $0.9997e^{-j0.6586}]$ ใน รูปแบบเชิงขั้ว ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้เป็นการยืนยันว่าเมื่อปรับลำคลื่นเริ่มต้นให้มีทิศทางใกล้เคียงกับ มุมตกกระทบของสัญญาณพึงประสงค์ คือในทิศทาง 22.5° และ 67.5° ในกรณีแรก และในทิศทาง 67.5° และ 90° ในกรณีที่สอง ระบบจะเลือกรับสัญญาณพึงประสงค์ แต่เมื่อปรับลำคลื่นเริ่มต้นให้มี ทิศทางใกล้เคียงกับมุมตกกระทบของสัญญาณแทรกสอด คือทิศทาง 112.5° ระบบกลับเลือกรับ สัญญาณแทรกสอดแทน

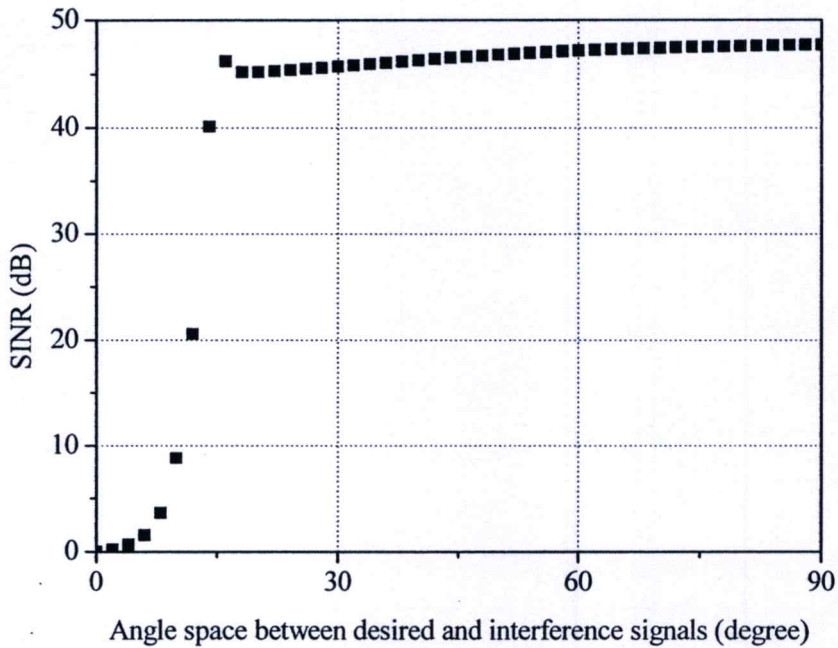
จากผลที่ได้ จะเห็นได้ว่า ทิศทางของลำคลื่นหลักของลำคลื่นเริ่มต้นนั้นมีผลต่อการเลือก รับสัญญาณและพฤติกรรมการลู่อเข้าของระบบ โดยหากปรับทิศทางของลำคลื่นหลักของลำคลื่น เริ่มต้นให้เข้าใกล้ทิศทางของสัญญาณพึงประสงค์ ระบบจะสามารถรับสัญญาณได้ดีและมีการลู่อเข้า ที่เร็วยิ่งขึ้น และหากทิศทางของลำคลื่นหลักของลำคลื่นเริ่มต้นเข้าใกล้ทิศทางของสัญญาณแทรก

สอด จะทำให้ระบบเกิดความผิดพลาด โดยเลือกรับสัญญาณแทรกสอดแทนสัญญาณพึงประสงค์ ทั้งนี้เนื่องจากระบบไม่สามารถทราบได้แน่ชัดว่าสัญญาณใดเป็นสัญญาณพึงประสงค์ สัญญาณใดเป็นสัญญาณแทรกสอด ระบบจะเลือกรับสัญญาณ โดยถือว่าสัญญาณที่รับได้แรงที่สุดเป็นสัญญาณที่ต้องการ ดังนั้น ในการตั้งค่าเริ่มต้นให้กับระบบจึงต้องทำการปรับทิศทางของลำคลื่นเริ่มต้นให้ใกล้เคียงกับทิศทางของสัญญาณพึงประสงค์เพื่อให้สายอากาศสามารถรับสัญญาณได้สูงที่สุด

นอกจากนี้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาผลกระทบของมุมตกกระทบของสัญญาณแทรกสอดอีกด้วย โดยได้ทำการจำลองระบบสายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA โดยสมมติให้สัญญาณพึงประสงค์ตกกระทบที่มุม 30° มุมตกกระทบของสัญญาณแทรกสอดมีค่าตั้งแต่ 30° จนถึง 120° โดยลำคลื่นเริ่มต้นมีทิศทางของลำคลื่นหลักที่มุม 22.5° ผลการจำลองเป็นดังรูปที่ 3.26 จากรูปแสดงให้เห็นว่า ระยะห่างของมุมตกกระทบระหว่างสัญญาณพึงประสงค์กับสัญญาณแทรกสอดมีผลต่อความเร็วในการลู่เข้าหาค่าตอบของระบบ โดยระยะห่างของมุมตกกระทบที่น้อยกว่า 34° จะทำให้ระบบมีการลู่เข้าที่ช้า และเมื่อมุมตกกระทบของสัญญาณแทรกสอดเป็นมุมเดียวกับมุมตกกระทบของสัญญาณพึงประสงค์ ระบบจะไม่สามารถแยกสัญญาณพึงประสงค์ออกจากสัญญาณแทรกสอดได้



รูปที่ 3.27 อัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวน (SINR) ที่ได้จากสายอากาศปรับตัวหลังการทำซ้ำครั้งที่ 2000

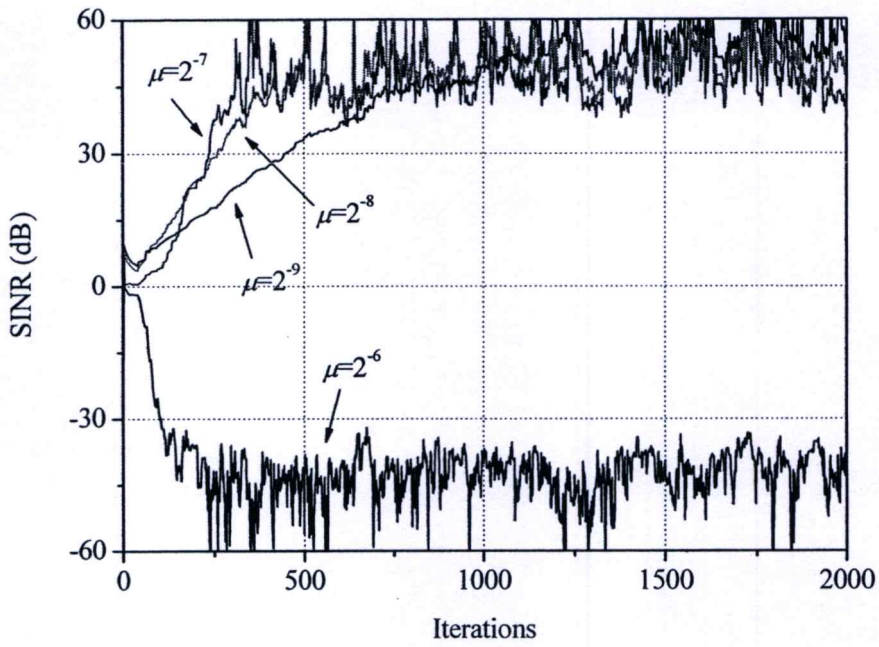


(ข)

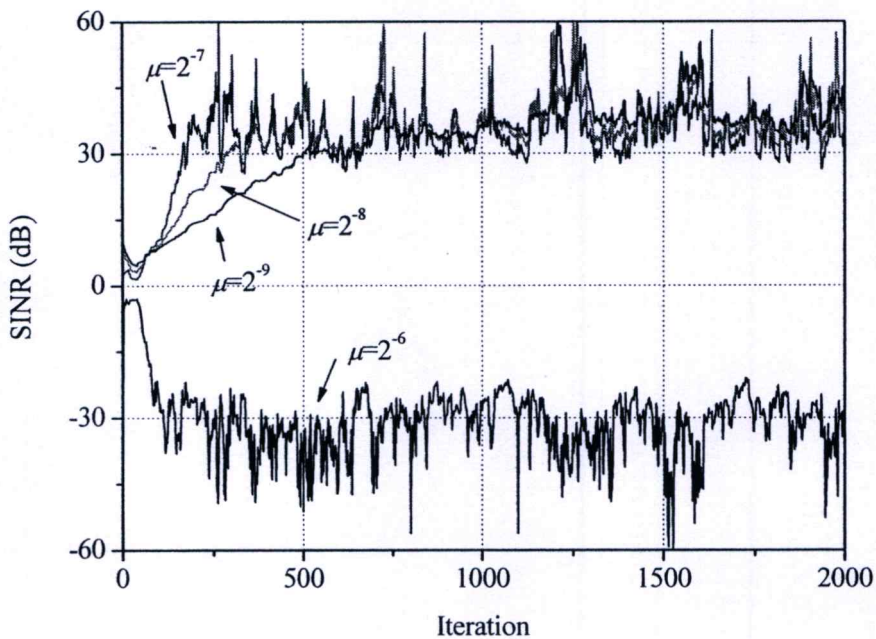
รูปที่ 3.28 อัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวน (SINR) ที่ได้จากสายอากาศปรับตัวหลังการทำซ้ำครั้งที่ 20000

3.3.3 ผลกระทบของค่าขนาดของระดับขั้น (step-size)

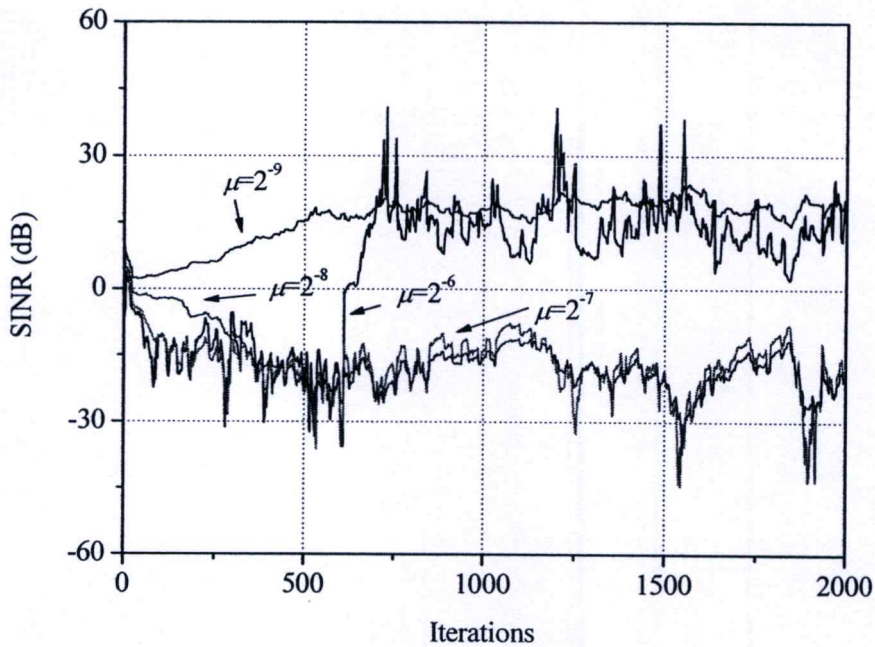
จากการศึกษาผลกระทบของค่าขนาดขั้น (step-size : μ) ของอัลกอริทึม CMA โดยทำการจำลองระบบสายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA โดยกำหนดให้สัญญาณพึงประสงค์และสัญญาณแทรกสอดตกกระทบที่มุม 30° และ 120° ตามลำดับ โดยกำหนดให้ทิศทางของลำคลื่นหลักของลำคลื่นเริ่มต้นเป็น 22.5° และค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่าแตกต่างกันเพื่อสังเกตผลกระทบของสัญญาณรบกวนที่มีต่อระบบ โดยผลที่ได้จากการจำลองเป็นดังรูปที่ 3.29-3.31



รูปที่ 3.29 แนววิถีอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวน (SINR) ของ CMA ที่ค่าขนาดของระดับขั้น (step-size) แตกต่างกัน โดยกำหนดให้อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่า 30 dB



รูปที่ 3.30 แนววิถีอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวน (SINR) ของ CMA ที่ค่าขนาดของระดับขั้น (step-size) แตกต่างกัน โดยกำหนดให้อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่า 20 dB



รูปที่ 3.31 แนววิถีอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวน (SINR) ของ CMA ที่ค่าขนาดของระดับขั้น (step-size) แตกต่างกัน โดยกำหนดให้อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่า 10 dB

พิจารณารูปที่ 3.29 พบว่า ที่ค่าขนาดของระดับขั้น (step-size) มีค่าเป็น 2^{-6} ระบบทำงานผิดพลาดโดยเลือกรับสัญญาณแทรกสอดแทนสัญญาณพึงประสงค์ และจากการจำลองพบว่าเมื่อค่าขนาดของระดับขั้น (step-size) มีค่ามากกว่า 2^{-6} ระบบไม่สามารถลู่เข้าหาคำตอบได้ ซึ่งทำให้ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ได้มีค่าไม่คงที่ ในทางกลับกัน เมื่อค่าขนาดของระดับขั้น (step-size) มีค่าน้อยกว่า 2^{-7} ระบบสามารถรับสัญญาณพึงประสงค์ได้ โดยที่ค่าขนาดของระดับขั้น (step-size) มีค่าเป็น 2^{-7} , 2^{-8} และ 2^{-9} ระบบจะมีการลู่เข้าหลังการทำซ้ำครั้งที่ 400, 500 และ 800 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาผลกระทบที่เกิดจากค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่แตกต่างกันพบว่า ที่ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่าน้อย ระบบจะมีการลู่เข้าที่เร็วกว่าระบบที่มีค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูง แต่ในทางกลับกัน ระบบที่มีอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูง จะมีค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่สูงกว่าระบบที่มีอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนน้อย ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 3.29 และ 3.30 ที่ค่าขนาดของระดับขั้น (step-size) เป็น 2^{-8} ระบบที่มีค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน 30 dB มีการลู่เข้าหลังการทำซ้ำครั้งที่ 500 และระบบที่มีค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน 20 dB มีการลู่เข้าหลังการทำซ้ำครั้งที่ 400 โดยที่ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวนมีค่าเป็น 51 dB และ 33 dB ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม เมื่ออัตราส่วนสัญญาณต่อ

สัญญาณรบกวนมีค่าต่ำมาก ระบบอาจจะทำงานได้ไม่ดีหรือไม่สามารถรับสัญญาณฟังประสงค์ได้ ดังรูปที่ 2.31 ที่ค่าขนาดของระดับขั้น (step-size) มีค่าเป็น 2^{-7} และ 2^{-8} เมื่ออัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่าเป็น 20 และ 30 dB ระบบยังสามารถรับสัญญาณฟังประสงค์ได้ แต่เมื่ออัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่าเป็น 10 dB ระบบไม่สามารถรับสัญญาณฟังประสงค์ได้

3.4 สรุป

ในบทนี้ได้จำลองเพื่อทดสอบหลักการของระบบการสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัล จากผลการจำลองพบว่า ระบบสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัลนั้นสามารถสร้างลำคลื่นที่มีทิศทางของลำคลื่นหลักเป็นไปตามต้องการได้เช่นเดียวกับการใช้วงจรเลื่อนเฟสแบบ 1 บิต ทำให้สามารถนำมาใช้เพื่อปรับทิศทางของลำคลื่นหลักได้ จากนั้นได้จำลองระบบสายอากาศแถวลำดับปรับด้วยอัลกอริทึม CMA โดยใช้การปรับลำคลื่นเป็นตัวเริ่มต้น ซึ่งพบว่า ระบบที่ใช้การปรับลำคลื่นเป็นตัวเริ่มต้นนั้นมีการลู่เข้าที่เร็วกว่าระบบที่ไม่มี การปรับลำคลื่น และเมื่อนำระบบสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัลไปใช้ในการปรับทิศทางลำคลื่นหลักของลำคลื่นเริ่มต้น พบว่าระบบมีคุณสมบัติการลู่เข้าเช่นเดียวกับการใช้วงจรเลื่อนเฟสในการปรับทิศทางลำคลื่นหลัก โดยทั้งสองมีการลู่เข้าที่เร็วกว่าระบบที่ไม่ใช้การปรับลำคลื่น เมื่อลองปรับทิศทางของลำคลื่นหลักไปในทิศทางต่างๆ พบว่า ยิ่งทิศทางของลำคลื่นหลักอยู่ใกล้มุมตกกระทบของสัญญาณฟังประสงค์ จะยิ่งทำให้ระบบมีการลู่เข้าที่เร็วยิ่งขึ้น และเมื่อทิศทางของลำคลื่นหลักเข้าใกล้มุมตกกระทบของสัญญาณแทรกสอด ระบบจะทำงานผิดพลาดโดยเลือกรับสัญญาณแทรกสอดแทน จากนั้นได้ศึกษาผลกระทบของระยะห่างระหว่างมุมตกกระทบของสัญญาณฟังประสงค์กับสัญญาณแทรกสอด โดยพบว่าระยะห่างของมุมทั้งสองนั้นมีผลกับความเร็วในการลู่เข้าของระบบ โดยระยะห่างระหว่างมุมทั้งสองที่น้อย จะทำให้ระบบมีการลู่เข้าที่ช้า

นอกจากนี้ยังได้วิเคราะห์ถึงผลกระทบของค่าขนาดของระดับขั้น (step-size) ของ CMA ที่มีต่อระบบ โดยพบว่าระบบจะทำงานได้ดีที่ค่าขนาดของระดับขั้น (step-size) ที่เหมาะสมค่าหนึ่ง ซึ่งค่าที่น้อยไปอาจจะทำให้ระบบลู่เข้าช้าจนอาจล้มได้ หรือค่าที่มากไปอาจจะทำให้ระบบทำงานผิดพลาดจนไม่สามารถทำงานได้

บทที่ 4

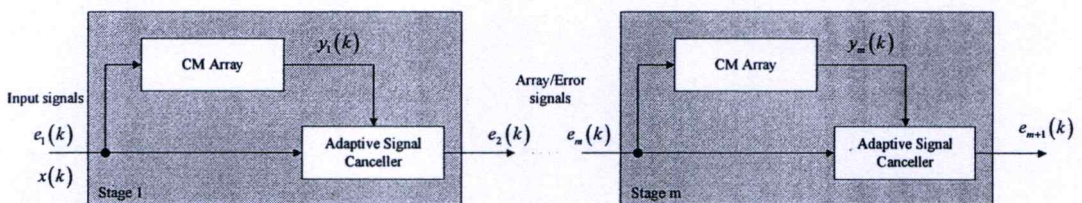
สายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA สำหรับหลาย ผู้ใช้งานโดยใช้การสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัลเป็นตัวเริ่มต้น

4.1 บทนำ

จากบทที่แล้วที่ได้นำเสนอระบบสายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA โดยใช้การสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัลเป็นตัวเริ่มต้นให้กับระบบ ซึ่งช่วยให้ CMA สามารถลู่เข้าได้เร็วยิ่งขึ้นแล้ว [27] ในบทนี้จะเป็นการนำระบบมาประยุกต์ใช้งานในการรับสัญญาณหลายผู้ใช้งาน โดยจะกล่าวถึงหลักการของสายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA สำหรับหลายผู้ใช้งาน รวมถึงนำเสนอระบบสายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA สำหรับหลายผู้ใช้งานโดยใช้การสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัลเป็นตัวเริ่มต้น และผลการจำลองระบบที่นำเสนอ เพื่อศึกษาและตรวจสอบการทำงานของระบบที่ได้นำเสนอ

4.2 สายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA สำหรับหลายผู้ใช้งาน

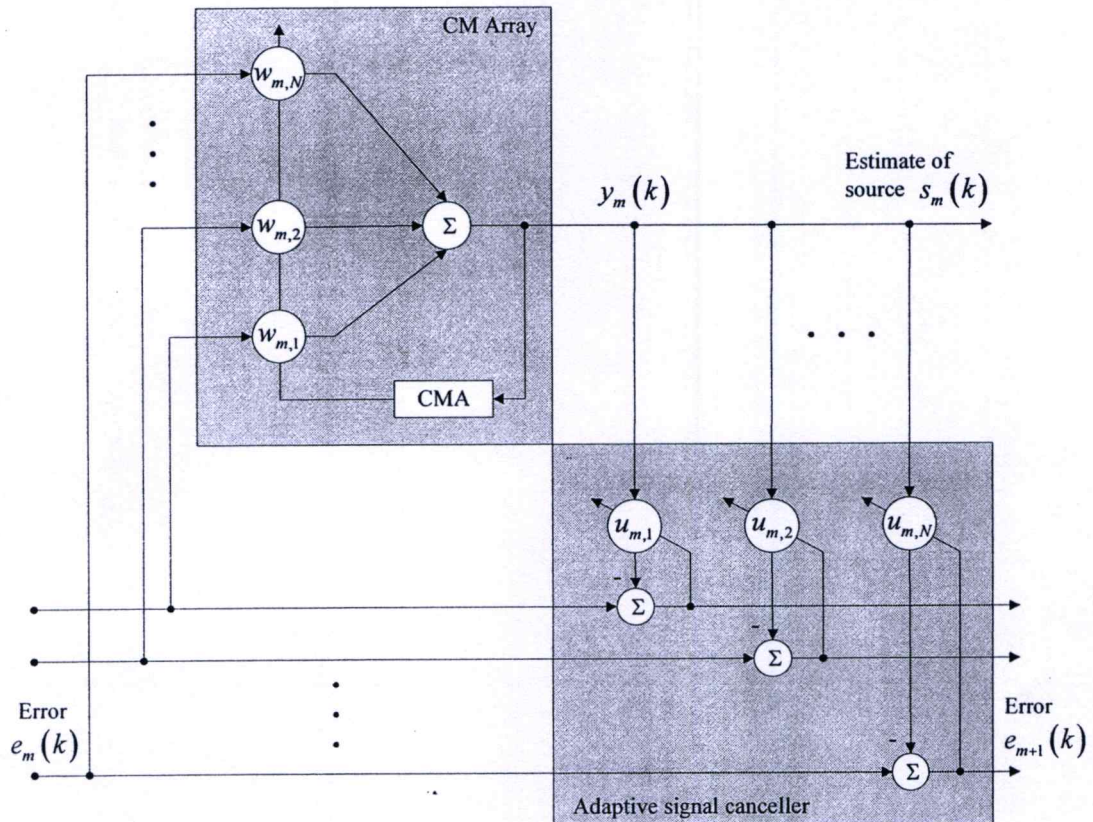
หลักการของสายอากาศปรับตัวสำหรับหลายผู้ใช้งานได้ถูกนำเสนอ โดย Gooch และ Lundell ได้นำเสนอ Constant Modulus (CM) array โดยเป็นการนำระบบ CM หลายตัวมาต่อกันในรูปแบบแถวลำดับ [7] ต่อมา Shynk และคณะ ได้นำเสนอระบบสายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA สำหรับหลายผู้ใช้งาน โดยเป็นการนำ CMA หลายตัวมาต่อกันแบบคาสเคด [28] ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 โครงสร้างของสายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA แบบคาสเคด

การทำงานของระบบสายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA สำหรับหลายผู้ใช้งานแบบคาสเคดนั้น สัญญาณที่รับได้จากสายอากาศซึ่งจะเป็นสัญญาณอินพุตของระบบภาค (stage) ที่ 1 โดย CMA ในภาคที่ 1 จะทำการรับสัญญาณผู้ใช้งานหนึ่งผู้ใช้งาน จากนั้นส่วนการลบสัญญาณปรับตัว (adaptive signal canceller) จะทำการปรับตัวด้วยอัลกอริทึม LMS เพื่อกำจัดสัญญาณ

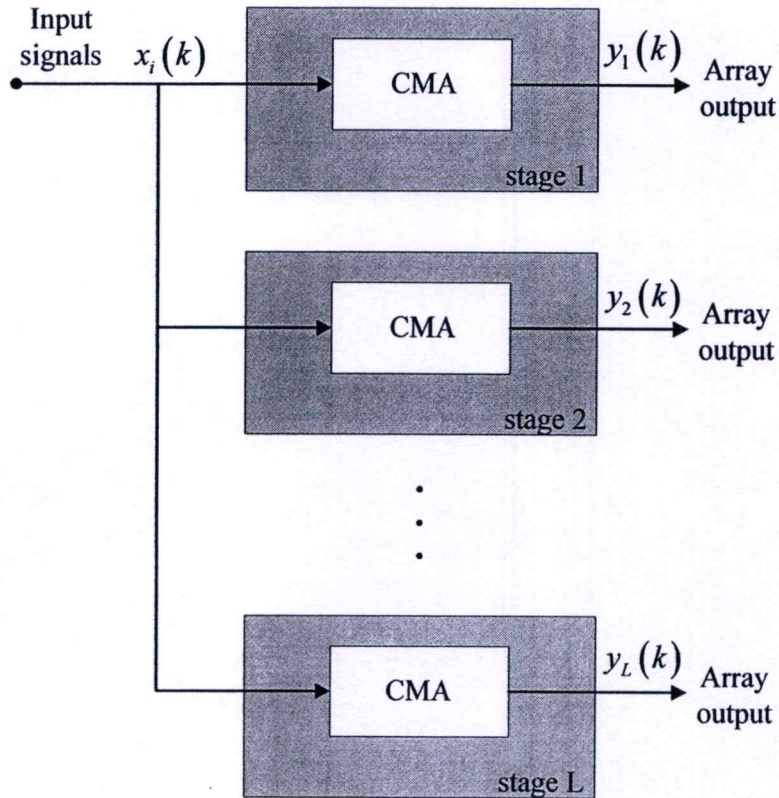
ผู้ใช้งานที่ CMA รับได้ออกจากสัญญาณเอาต์พุต สัญญาณเอาต์พุตจากภาคที่ 1 จะถูกนำไปใช้เป็นสัญญาณอินพุตในภาคที่ 2 ต่อไป โดยในภาคที่ 2 ระบบจะมีการทำงานเช่นเดียวกับภาคแรก เป็นเช่นนี้เรื่อยไปจนกระทั่งสามารถรับสัญญาณผู้ใช้งานที่ต้องการได้ครบ โดยโครงสร้างของสายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA แบบคาสเคดในแต่ละภาคเป็นดังรูปที่ 4.2 [29]-[32]



รูปที่ 4.2 โครงสร้างของสายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA แบบคาสเคดในแต่ละภาค

แต่เนื่องด้วยระบบสายอากาศแถวลำดับปรับตัวแบบคาสเคดนั้น ไม่สามารถทำงานได้อย่างแม่นยำ หากว่าสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณที่มีความเกี่ยวพันกันสูง (correlated source) ดังนั้น Shynk และคณะจึงได้นำเสนอสายอากาศแถวลำดับปรับตัวแบบ CMA สำหรับหลายผู้ใช้งานโดยใช้การต่อแบบขนาน ซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่ 4.3 แต่เนื่องจากอัลกอริทึม CMA จะเลือกรับสัญญาณที่แรงที่สุดเป็นหลัก ซึ่งจะทำให้ CMA ในแต่ละภาคจะรับสัญญาณผู้ใช้งานเดียวกัน [33] ดังนั้นจึงต้องมีการวางแผนในการป้อนค่าเริ่มต้นให้กับ CMA ในแต่ละภาค โดย Shynk ได้นำเสนอการใช้

อัลกอริทึม MUSIC เป็นตัวเริ่มต้นให้กับ CMA [34] ในแต่ละภาค อย่างไรก็ตาม ระบบนี้มีข้อเสียคือ จำเป็นต้องอาศัยการคำนวณค่อนข้างมาก



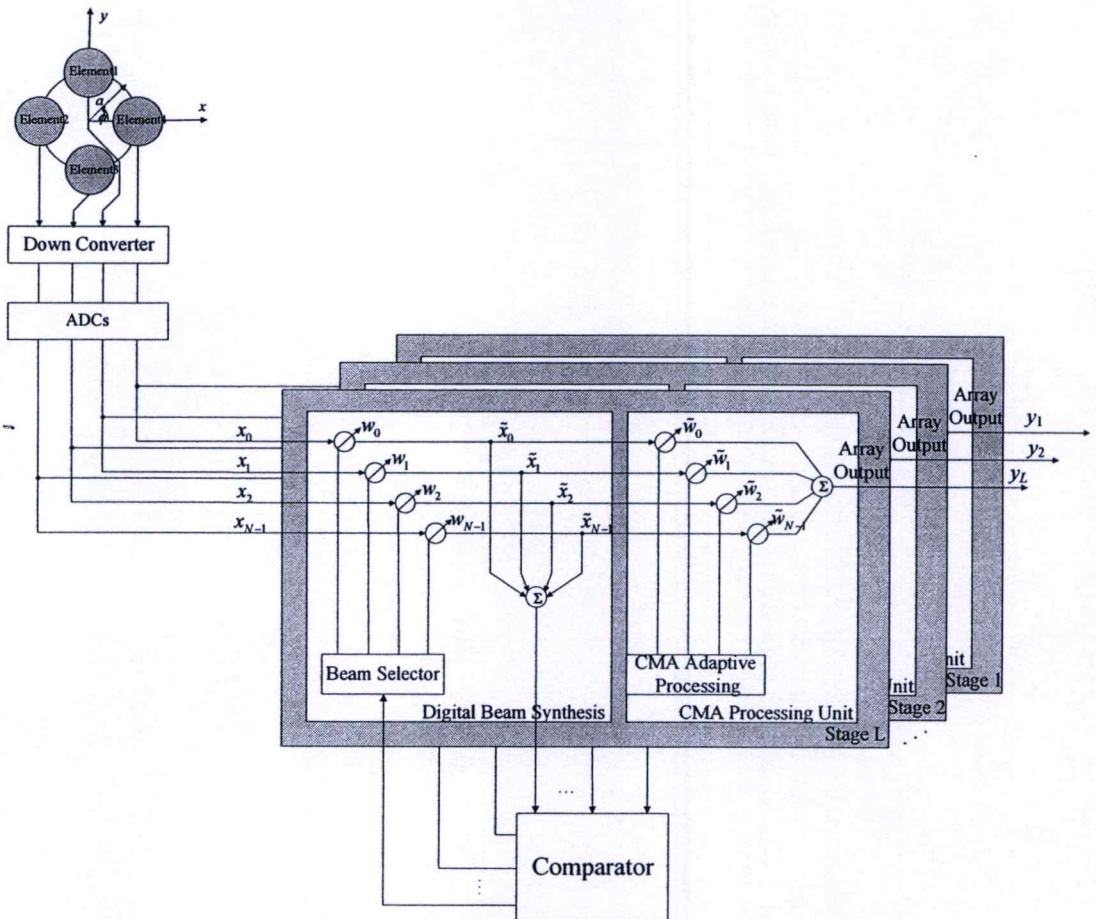
รูปที่ 4.3 โครงสร้างสายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA แบบขนาน

นอกจากนี้ Shynk และคณะยังได้นำเสนอวิธีการในการป้อนค่าเริ่มต้นให้กับ CMA โดยการนำค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้จากระบบแถวลำดับแบบคาสเคดมาใช้เป็นค่าเริ่มต้นให้กับ CMA ในแถวลำดับแบบขนาน [35]-[37] และต่อมา Venkataraman และ Shynk ได้นำเสนอแถวลำดับแบบไฮบริดโดยนำแถวลำดับแบบคาสเคดมาต่อร่วมกับ LCCM แบบขนาน [38]

และเนื่องจากความยุ่งยากซับซ้อนในการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับ CMA ในสายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA สำหรับหลายผู้ใช้งานแบบขนานดังกล่าว วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงได้นำวิธีการสังเคราะห์ลำดับเส้นทางดิจิทัลมาใช้ในการปรับลำดับเริ่มต้นให้กับ CMA ในแต่ละภาค [39] ซึ่งจะช่วยให้ CMA ในแต่ละภาคสามารถรับสัญญาณผู้ใช้งานที่ไม่ซ้ำกันได้

4.3 สายอากาศแฉวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA สำหรับหลายผู้ใช้งานแบบขนาน โดยใช้การสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัลเป็นตัวเริ่มต้น

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เลือกใช้งานระบบสายอากาศแฉวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA สำหรับหลายผู้ใช้งานแบบขนาน โดยเลือกใช้การสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัลในการเป็นตัวเริ่มต้นให้กับ CMA [39] ดังรูปที่ 4.4

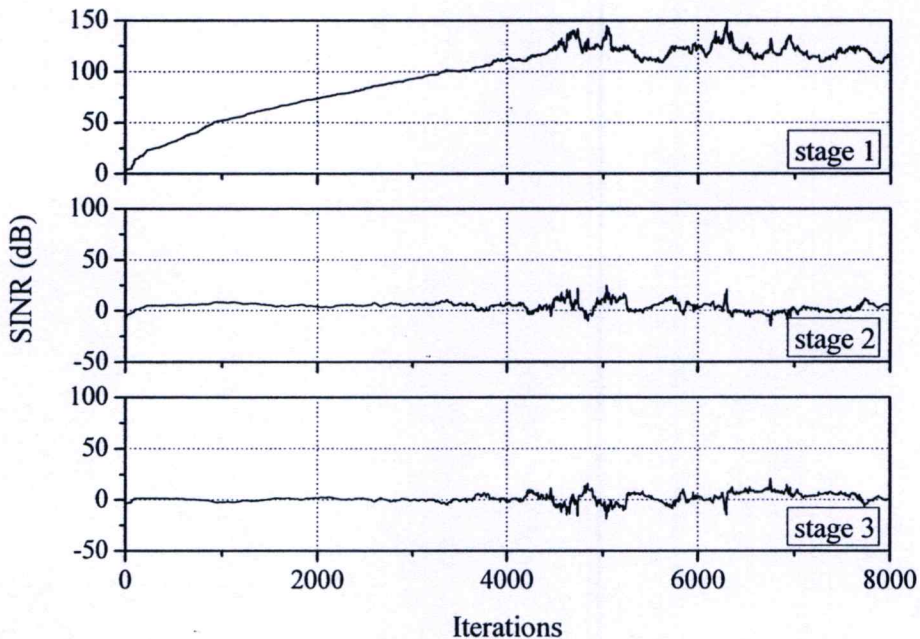


รูปที่ 4.4 โครงสร้างของสายอากาศแฉวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA สำหรับหลายผู้ใช้งานแบบขนาน

ในการจำลองระบบได้ทำการจำลองโดยสมมติให้มีสัญญาณจาก 3 ผู้ใช้งาน โดยสัญญาณทั้งหมดมีการมอดูเลตแบบ $\pi/4$ -QPSK ส่งผ่านช่องสัญญาณ additive white Gaussian noise (AWGN) สัญญาณทั้งหมดมีอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (signal to noise ratio : SNR) 30 dB และมีกำลังงานเท่ากัน ซึ่งผลที่ได้จากการจำลองเป็นดังนี้

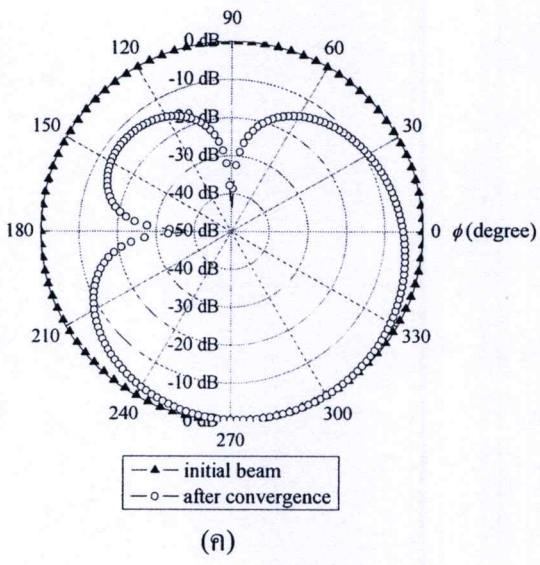
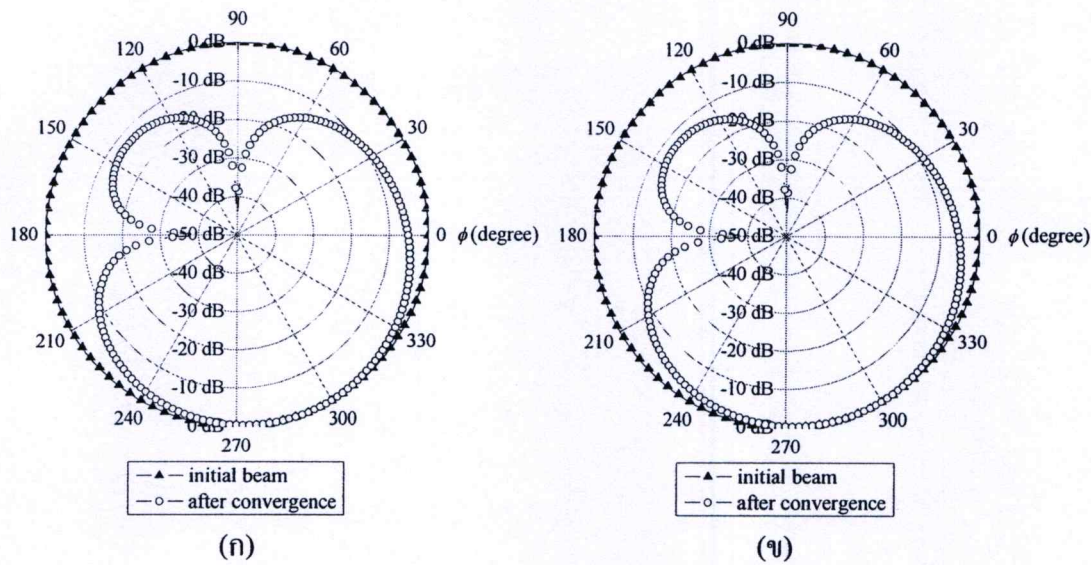
4.3.1 กรณีไม่มีการปรับลำดับเริ่มต้น

ในกรณีที่ไม่มีมีการปรับลำดับเริ่มต้นให้กับระบบ ได้ทำการจำลองระบบโดยสมมติให้มีสัญญาณผู้ใช้งานที่ 1, 2 และ 3 ครอบคลุมที่มุม 0° , 90° และ 180° ตามลำดับ ในภาครับใช้ระบบสายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA สำหรับหลายผู้ใช้งานแบบขนาน โดยไม่มีมีการปรับลำดับเริ่มต้นให้กับระบบ โดยกำหนดสมมติฐานให้ภาคที่ 1, 2 และ 3 รับสัญญาณผู้ใช้งานที่ 1, 2 และ 3 ได้ตามลำดับ ผลที่ได้จากการจำลองเป็นดังรูป



รูปที่ 4.5 แนววิถีอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวน (SINR) ของ CMA ในแต่ละภาค กรณีที่ไม่มีการปรับลำดับ

รูปที่ 4.5 แสดงถึงแนววิถีอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวนของ CMA ในแต่ละภาค จากรูปพบว่า ระบบ CMA ในภาคที่ 1 สามารถรับสัญญาณได้ แต่ในภาคที่ 2 และภาคที่ 3 ระบบไม่สามารถรับสัญญาณผู้ใช้งานได้ และเมื่อพิจารณาจากแบบรูปการแผ่พลังงานในรูปที่ 4.6 พบว่าระบบ CMA ทั้ง 3 ภาคนั้นมีการลู่ออกเหมือนกัน กล่าวคือ ระบบ CMA ทั้ง 3 ภาคเลือกรับสัญญาณผู้ใช้งานที่ 1 และมีการปรับนัลส์ที่มุม 90° และ 180° ซึ่งเป็นมุมตกกระทบของสัญญาณผู้ใช้งานที่ 2 และ 3 ตามลำดับ



รูปที่ 4.6 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับปรับด้วยอัลกอริทึม CMA สำหรับหลายผู้ใช้งานแบบขนานใน (ก) ภาคที่ 1 (ข) ภาคที่ 2 (ค) ภาคที่ 3 ในกรณีที่ไม่มีกรับปรับลำคลื่น

ในการตรวจสอบค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนของ CMA จะพิจารณาได้จากเอาต์พุตของระบบดังสมการ

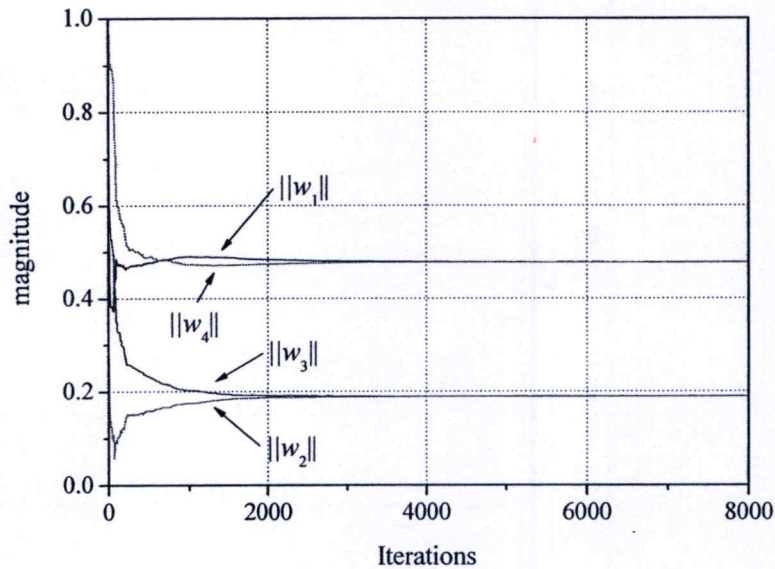
$$y = \mathbf{W}^H \mathbf{X} \tag{4.1}$$

กำลังงานของสัญญาณเอาต์พุตหาได้จาก

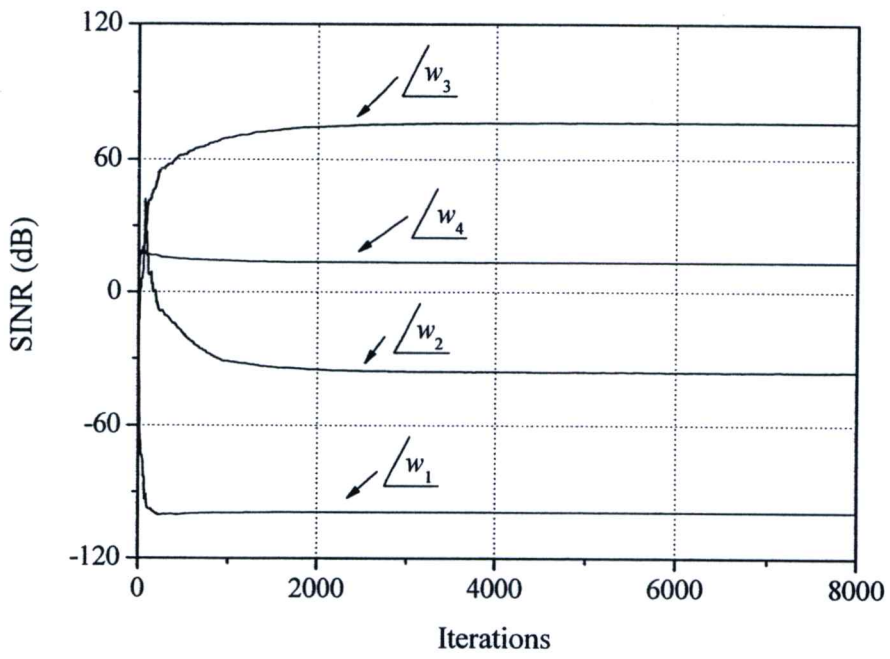
$$|y|^2 = \mathbf{W}^H \mathbf{X}^* \mathbf{X}' \mathbf{W} = \mathbf{W}^H \mathbf{R} \mathbf{W} \quad (4.2)$$

โดย \mathbf{R} เป็นเมตริกซ์แปรปรวนร่วมเกี่ยว (covariance matrix) ของสัญญาณอินพุต โดย $\mathbf{R}_{ij} = x_i^* x_j$ จากสมการข้างต้น จะเห็นได้ว่า ค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA มีผลต่อค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนและสัญญาณแทรกสอด ทั้งนี้ เนื่องจากระบบ CMA จะคูณค่าถ่วงน้ำหนักเข้ากับสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศ เพื่อกำจัดสัญญาณแทรกสอด ทำให้กำลังงานของสัญญาณแทรกสอดลดลง และอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนและสัญญาณแทรกสอดเพิ่มขึ้น

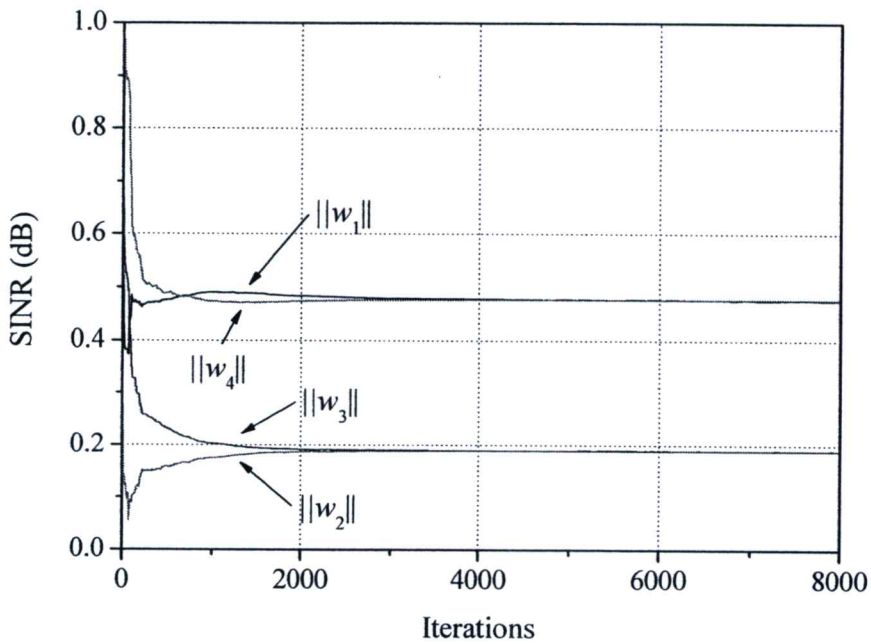
ค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้จากสายอากาศแกลวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA สำหรับหลายผู้ใช้งานแบบขนาน ในกรณีที่ไม่มีกรปรับลำคลื่นเริ่มต้นเป็นดังรูปที่ 4.7-4.12



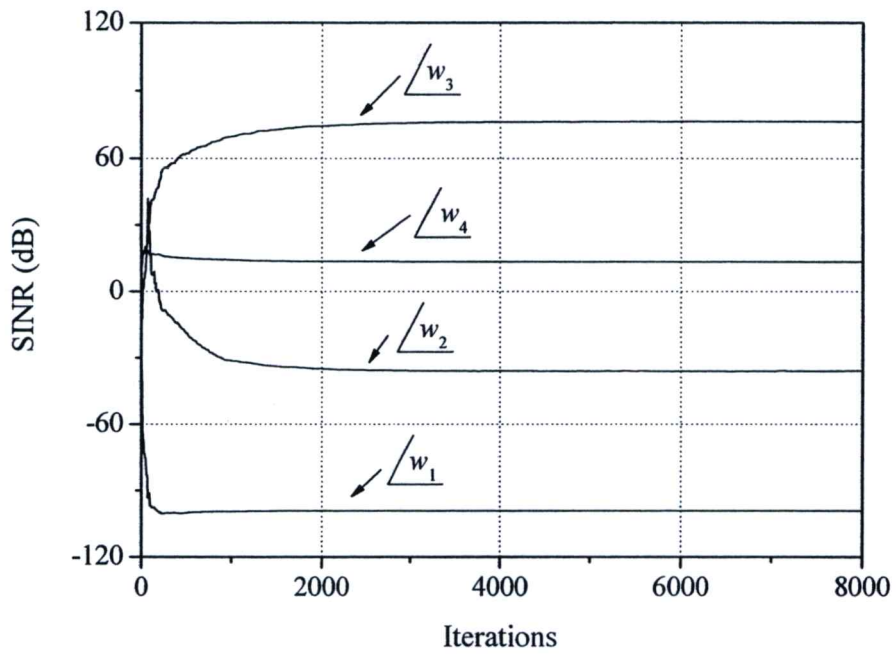
รูปที่ 4.7 ขนาดของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA ในภาคที่ 1 ในกรณีไม่มีกรปรับลำคลื่นเริ่มต้นให้กับระบบ



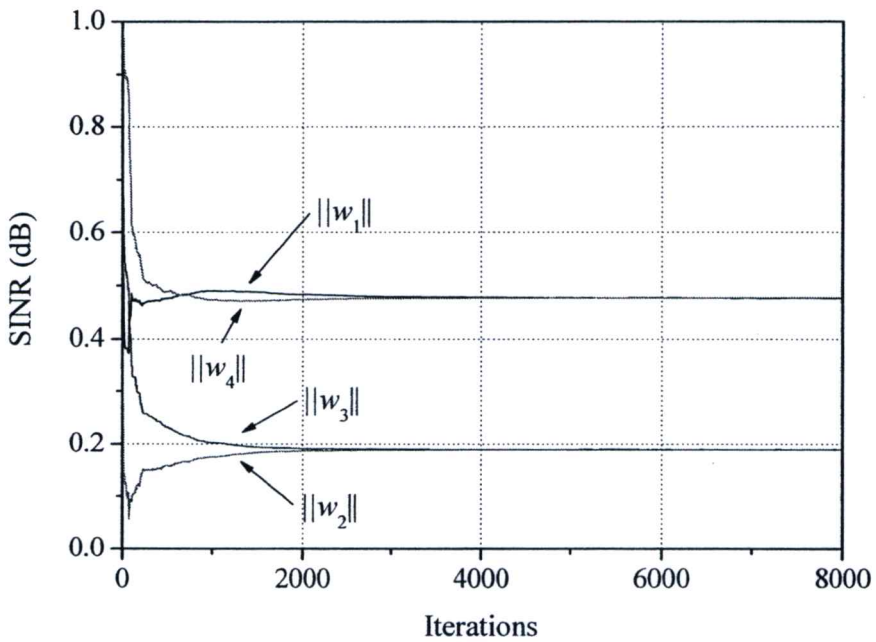
รูปที่ 4.8 เฟสของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA ในภาคที่ 1 ในกรณีไม่มีการปรับค่าคลื่นเริ่มต้นให้กับระบบ



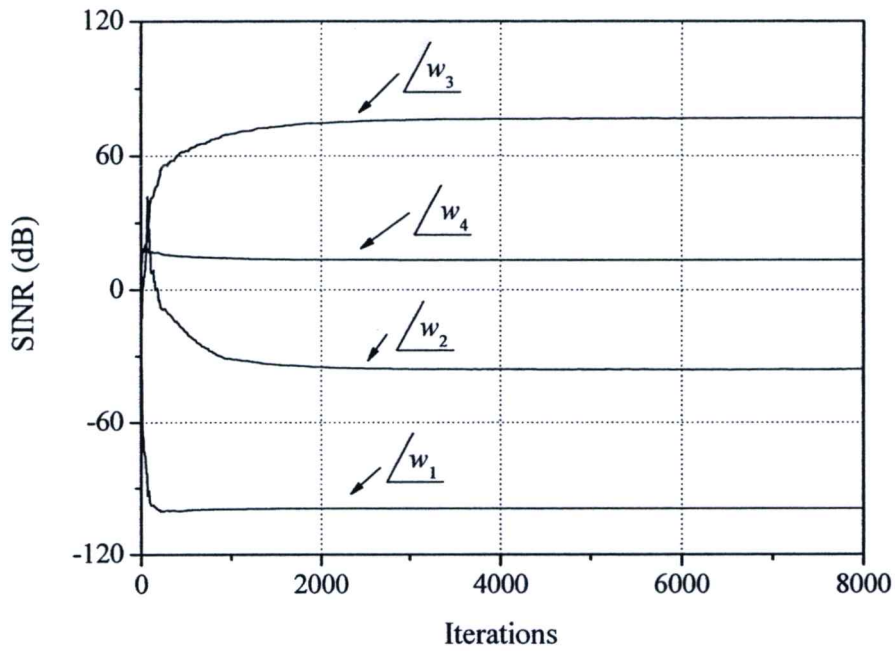
รูปที่ 4.9 ขนาดของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA ในภาคที่ 2 ในกรณีไม่มีการปรับค่าคลื่นเริ่มต้นให้กับระบบ



รูปที่ 4.10 เฟสของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA ในภาคที่ 2 ในกรณีไม่มีการปรับค่าคลื่นเริ่มต้นให้กับระบบ



รูปที่ 4.11 ขนาดของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA ในภาคที่ 3 ในกรณีไม่มีการปรับค่าคลื่นเริ่มต้นให้กับระบบ



รูปที่ 4.12 เฟสของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA ในภาคที่ 3 ในกรณีไม่มีการปรับค่าคลื่นเริ่มต้นให้กับระบบ

รูปที่ 4.7-4.12 แสดงขนาดและเฟสของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA ในภาคต่างๆ จากรูปจะเห็นได้ว่า การปรับค่าถ่วงน้ำหนักของทั้ง 3 ภาคมีการปรับตัวสู่เข้าหาค่าตอบเดียวกัน โดยค่าถ่วงน้ำหนักของทั้ง 3 ภาคมีค่าเท่ากัน ซึ่งทำให้ระบบรับสัญญาณตัวเดียวกันทั้ง 3 ภาค ซึ่งสอดคล้องกับค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ได้ทั้ง 3 ภาค

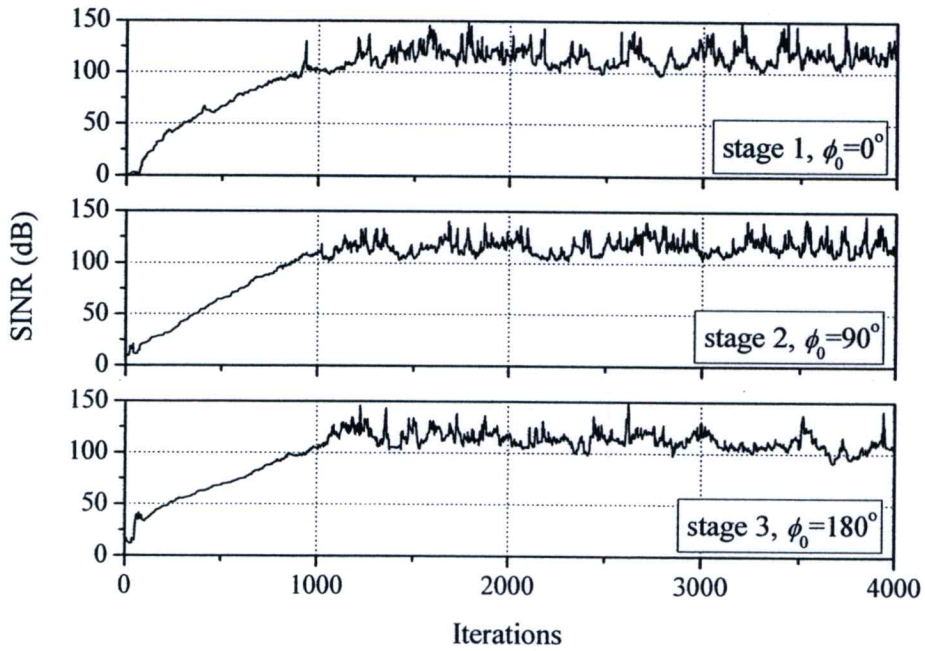
จากผลการจำลองระบบเมื่อไม่มีการปรับค่าคลื่นเริ่มต้น จะเห็นได้ว่า ระบบ CMA ในแต่ละภาคจะไม่สามารถเลือกรับสัญญาณจากผู้ใช้งานที่แตกต่างกันได้ ทั้งนี้ เนื่องจากแต่ละภาคมีสัญญาณอินพุตเดียวกันและมีการปรับค่าถ่วงน้ำหนักด้วยอัลกอริทึมเดียวกัน ดังนั้น การรู้เข้าหาคำตอบของระบบ CMA จึงเป็นการรู้เข้าหาคำตอบเดียวกัน ด้วยเหตุนี้ จึงจำเป็นต้องมีการตั้งค่าเริ่มต้นให้กับระบบสายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA สำหรับหลายผู้ใช้งานแบบขนาน เพื่อให้ระบบสามารถเลือกรับสัญญาณจากผู้ใช้งานต่างๆ ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

4.3.2 กรณีปรับค่าคลื่นเริ่มต้นของแต่ละภาคไปในทิศทางที่แตกต่างกัน

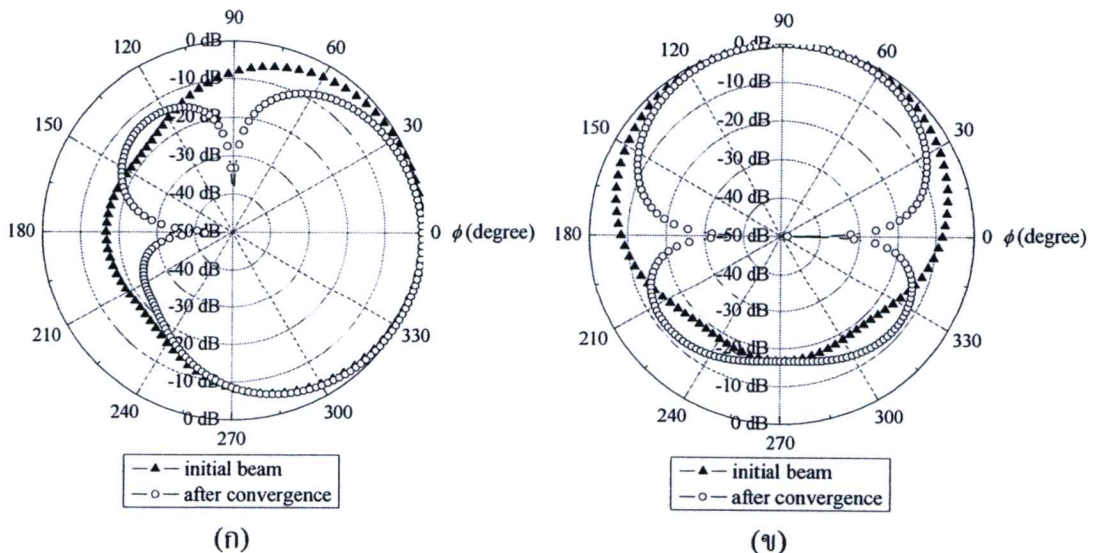
เมื่อปรับทิศทางของลำคลื่นหลักของลำคลื่นเริ่มต้นไปในทิศทางแตกต่างกัน โดยในการจำลองได้แบ่งออกเป็นสองกรณี ดังนี้

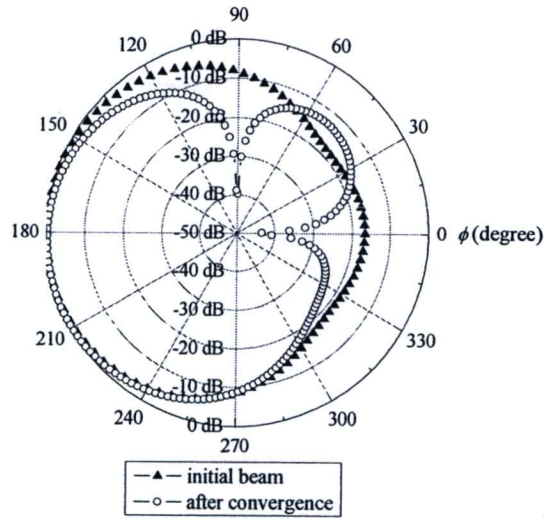
4.3.2.1 กรณีแรก

การจำลองระบบในกรณีแรกได้กำหนดให้สัญญาณผู้ใช้งานที่ 1, 2 และ 3 มีทิศทางของมุมตกกระทบเป็น 0° , 90° และ 180° ตามลำดับ และกำหนดให้ทิศทางของลำคลื่นหลักของลำคลื่นเริ่มต้นในภาคที่ 1, 2 และ 3 เป็น 0° , 90° และ 180° ตามลำดับ ผลจากการจำลองระบบเป็นดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 แนววิถีอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวน (SINR) ของ CMA ในแต่ละภาค ในกรณีที่มีการปรับลำคลื่นกรณีแรก

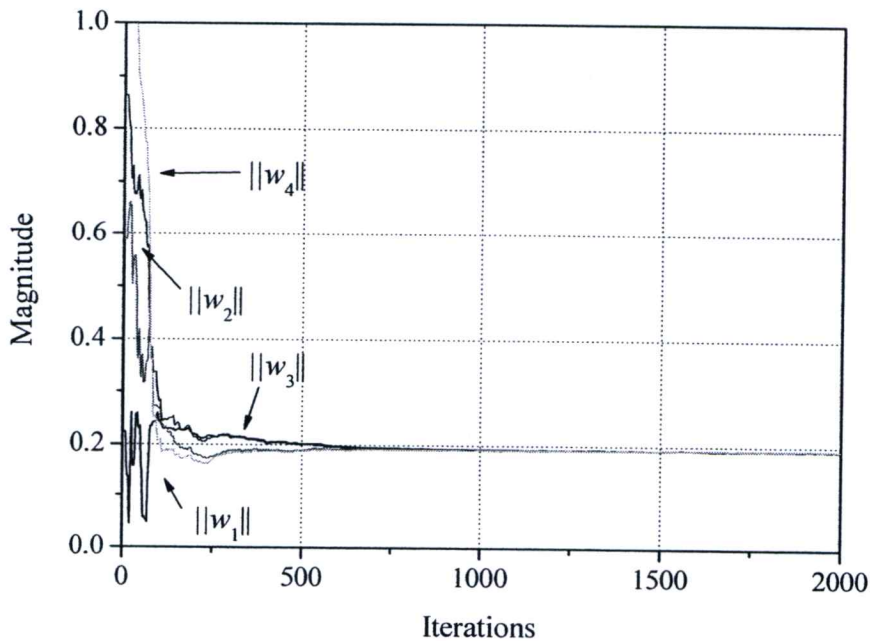




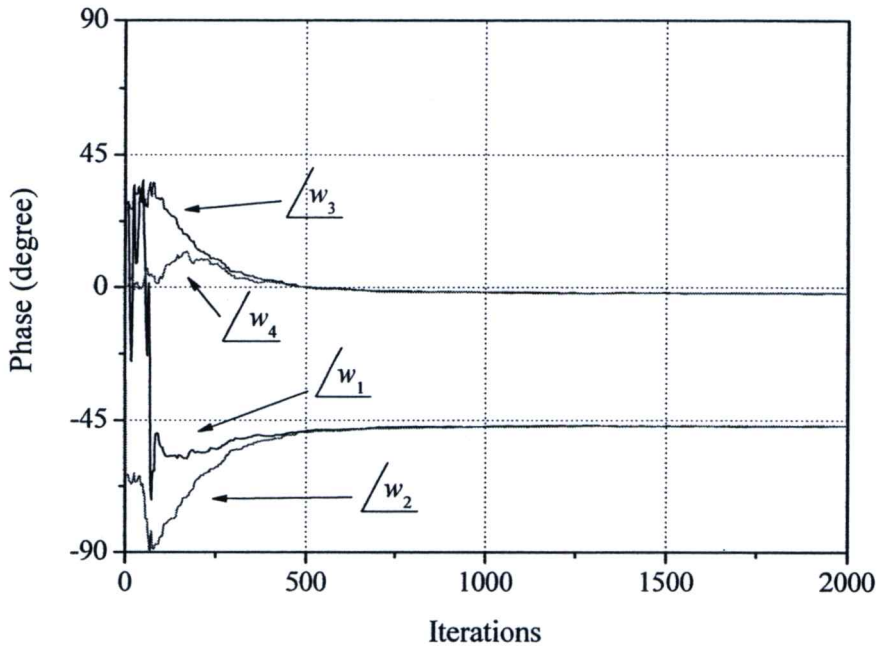
(ค)

รูปที่ 4.14 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแฉวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA สำหรับหลายผู้ใช้งานแบบขนานใน (ก) ภาคที่ 1 (ข) ภาคที่ 2 (ค) ภาคที่ 3 ในกรณีที่มีการปรับลำคลื่นกรณีแรก

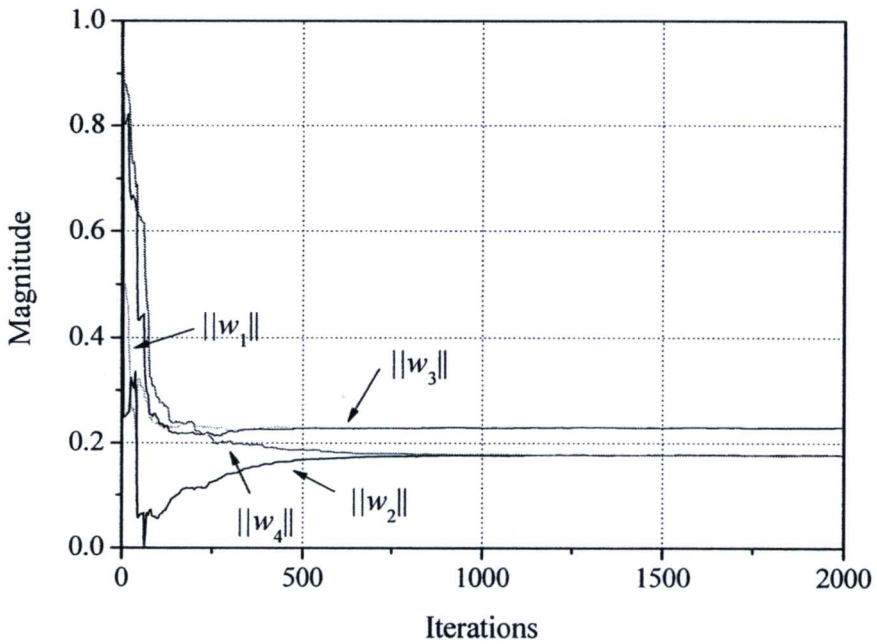
ค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้จากสายอากาศแฉวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA สำหรับหลายผู้ใช้งานแบบขนาน ในกรณีที่ปรับลำคลื่นไปในทิศทางแตกต่างกันกรณีแรกเป็นดังรูปที่ 4.15-4.20



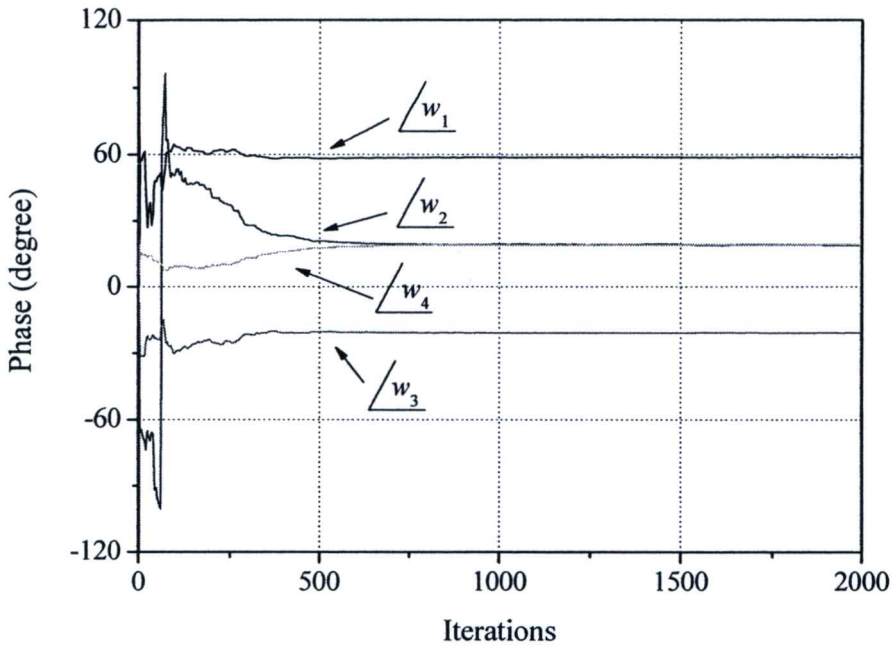
รูปที่ 4.15 ขนาดของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA ในภาคที่ 1 ในกรณีที่มีการปรับลำคลื่นกรณีแรก



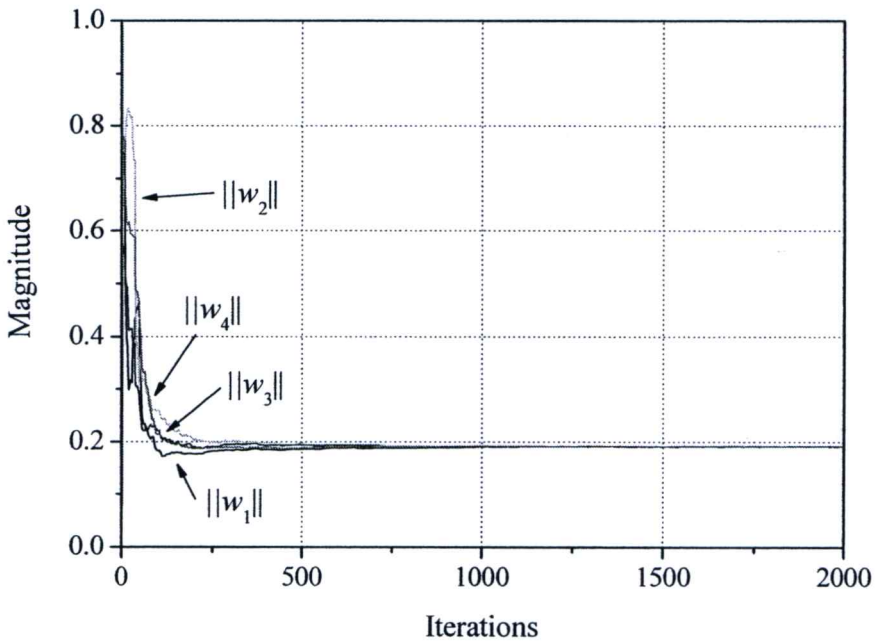
รูปที่ 4.16 เฟสของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA ในภาคที่ 1 ในกรณีที่มีการปรับค่าคลื่นกรณีแรก



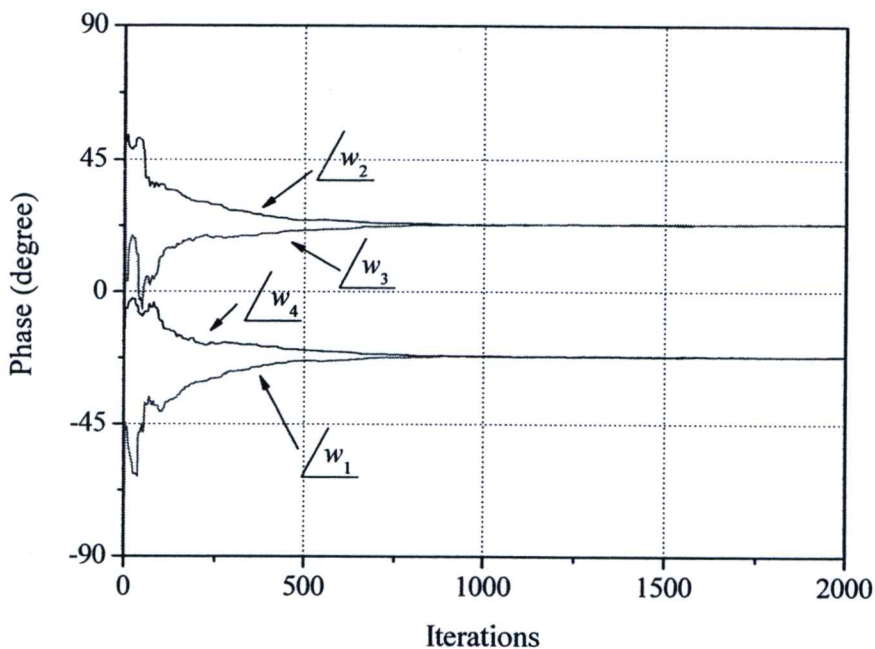
รูปที่ 4.17 ขนาดของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA ในภาคที่ 2 ในกรณีที่มีการปรับค่าคลื่นกรณีแรก



รูปที่ 4.18 เฟสของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA ในภาคที่ 2 ในกรณีที่มีการปรับค่าคลื่นกรณีแรก

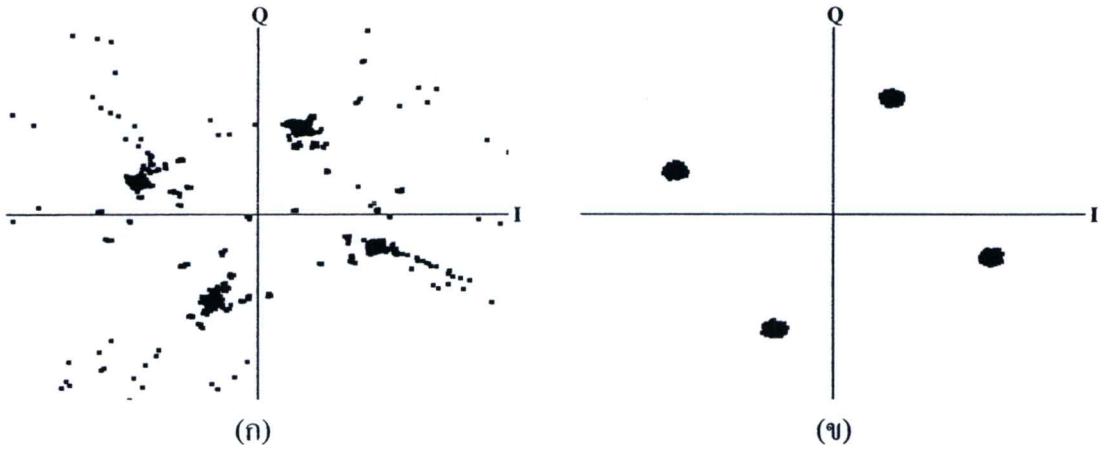


รูปที่ 4.19 ขนาดของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA ในภาคที่ 3 ในกรณีที่มีการปรับค่าคลื่นกรณีแรก

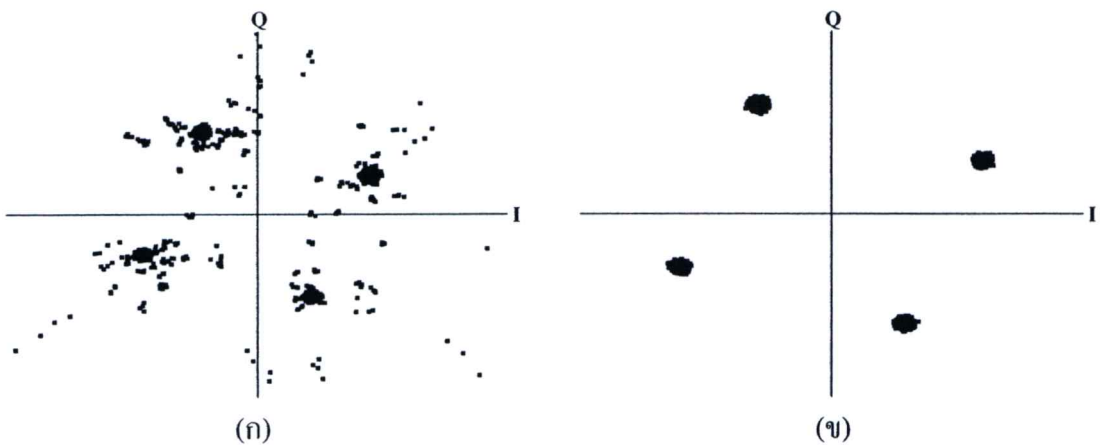


รูปที่ 4.20 เฟสของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA ในภาคที่ 3 ในกรณีที่มีการปรับลำดับขั้นแรก

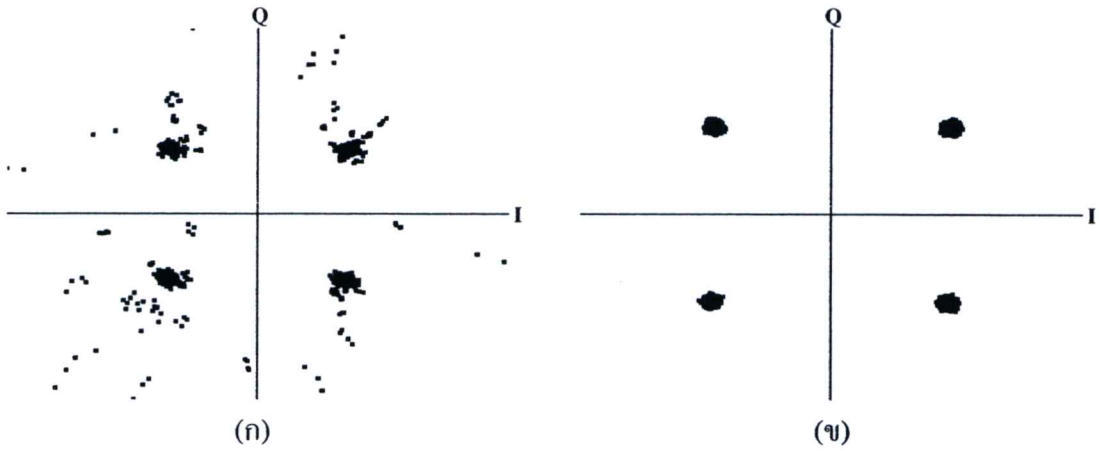
รูปที่ 4.15-4.20 แสดงถึงขนาดและเฟสของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA ของทั้ง 3 ภาค จากรูปพบว่า ระบบ CMA ทั้ง 3 ภาคจะทำการปรับทั้งขนาดและเฟสของค่าถ่วงน้ำหนักไปจนกระทั่งลู่ออกค่าตอบ โดยค่าถ่วงน้ำหนักหลังจากลู่ออกแล้วของ CMA ในแต่ละภาคมีค่าแตกต่างกัน ทำให้คำตอบของระบบ CMA ในแต่ละภาคมีความแตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับแบบรูปการแผ่พลังงานหลังการลู่ออกและค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนในแต่ละภาค เมื่อพิจารณาแผนภาพกลุ่มดาว (constellation diagram) ของสายอากาศแถวลำดับปรับเฟสด้วยอัลกอริทึม CMA สำหรับหลายผู้ใช้งานแบบขนานในแต่ละภาค ดังรูปที่ 4.21-4.23



รูปที่ 4.21 แผนภาพกลุ่มดาว (constellation diagram) ของสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากสายอากาศแฉก ลำดับปรับเฟสด้วยอัลกอริทึม CMA สำหรับหลายผู้ใช้งานแบบขนานในภาคที่ 1 ในกรณีที่มีการปรับล้าคลื่นกรณีแรก หลังการทำซ้ำครั้งที่ (ก) 0 (ข) 4000



รูปที่ 4.22 แผนภาพกลุ่มดาว (constellation diagram) ของสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากสายอากาศแฉก ลำดับปรับเฟสด้วยอัลกอริทึม CMA สำหรับหลายผู้ใช้งานแบบขนานในภาคที่ 2 ในกรณีที่มีการปรับล้าคลื่นกรณีแรก หลังการทำซ้ำครั้งที่ (ก) 0 (ข) 4000

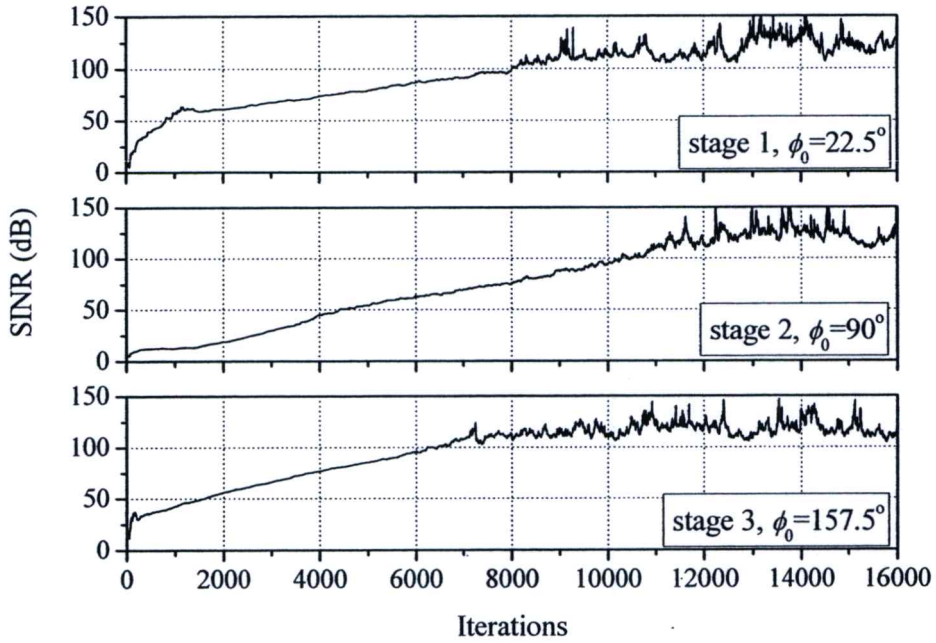


รูปที่ 4.23 แผนภาพกลุ่มดาว (constellation diagram) ของสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากสายอากาศแถว ลำดับปรับเฟสด้วยอัลกอริทึม CMA สำหรับหลายผู้ใช้งานแบบขนานในภาคที่ 3 ในกรณีที่มีการปรับลำคลื่นกรณีแรก หลังการทำซ้ำครั้งที่ (ก) 0 (ข) 4000.

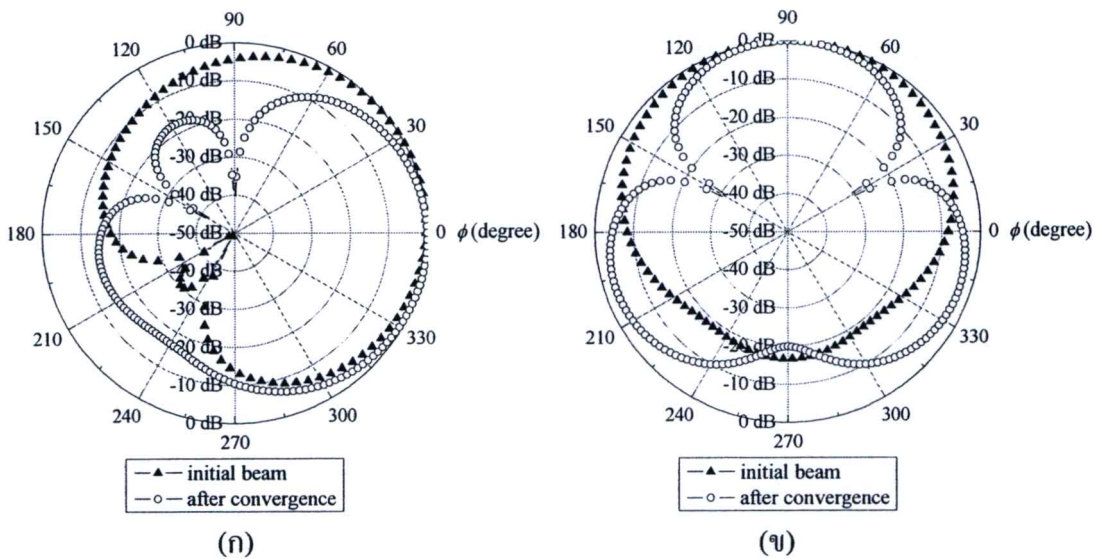
จากรูปที่ 4.21-4.23 จะเห็นได้ว่า หลังจาก CMA ในแต่ละภาคมีการลู่เข้าแล้ว สัญญาณจากผู้ใช้งานอื่นซึ่งจะถือเป็นสัญญาณแทรกสอดจะถูกกำจัดออกจากสัญญาณรับของสายอากาศ ทำให้ระบบสามารถรับสัญญาณผู้ใช้งานได้อย่างถูกต้อง

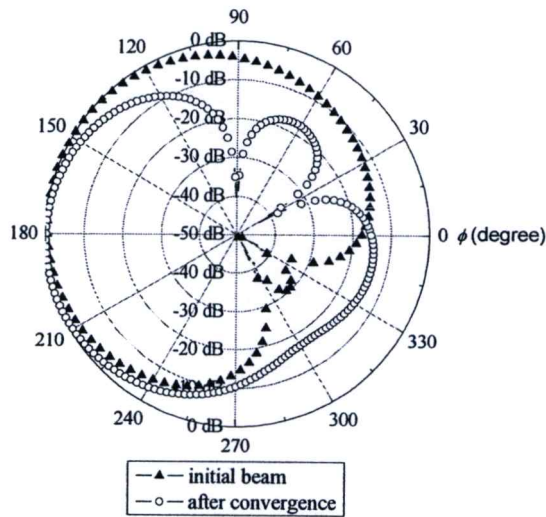
4.3.2.2 กรณีที่สอง

การจำลองระบบในกรณีแรกได้กำหนดให้สัญญาณผู้ใช้งานที่ 1, 2 และ 3 มีทิศทางของมุมตกกระทบเป็น 30° , 90° และ 150° ตามลำดับ และกำหนดให้ทิศทางของลำคลื่นหลักของลำคลื่นเริ่มต้นในภาคที่ 1, 2 และ 3 เป็น 22.5° , 90° และ 157.5° ตามลำดับ ผลจากการจำลองระบบเป็นดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 แนววิถีอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวน (SINR) ของ CMA ในแต่ละภาค ในกรณีที่มีการปรับลำคลื่นกรณีที่สอง

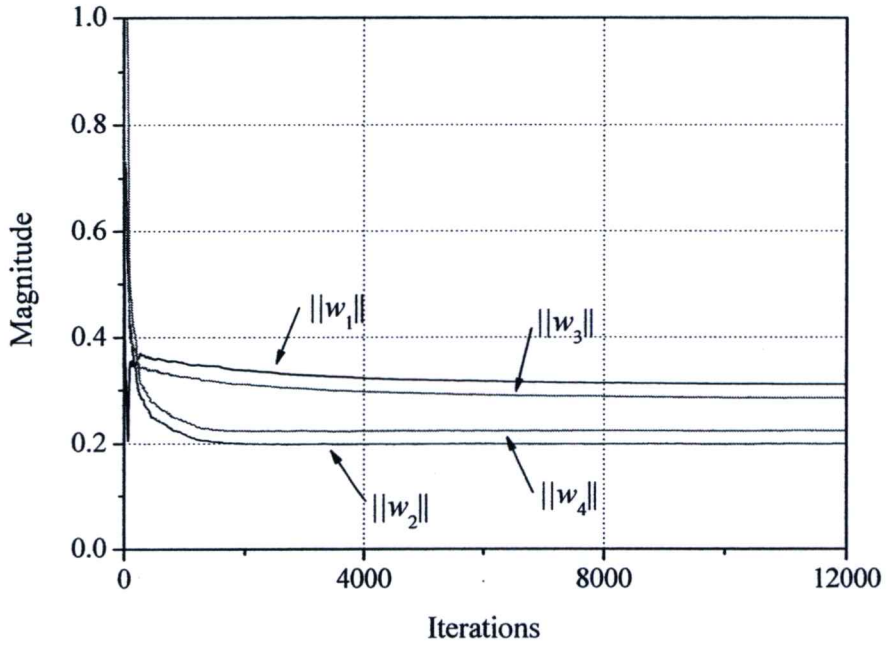




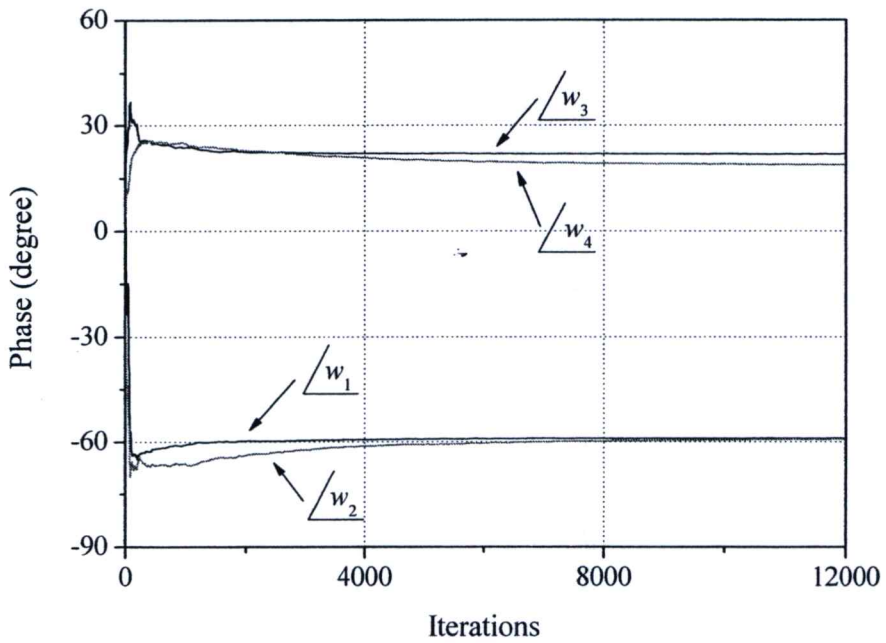
(ค)

รูปที่ 4.25 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA สำหรับหลายผู้ใช้งานแบบขนานใน (ก) ภาคที่ 1 (ข) ภาคที่ 2 (ค) ภาคที่ 3 ในกรณีที่มีการปรับลำคลื่นกรณีที่สอง

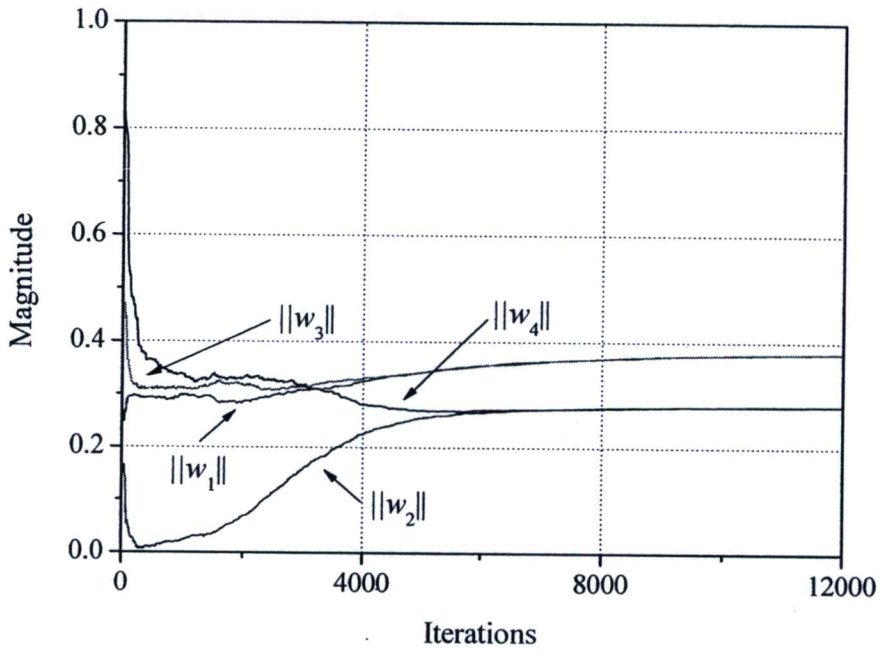
จากรูปแนววิถีอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวนในแต่ละภาค จะเห็นได้ว่า เมื่อกำหนดให้ทิศทางของลำคลื่นหลักของลำคลื่นเริ่มต้นในแต่ละภาคแตกต่างกัน โดยเป็น 30° , 90° และ 150° ตามลำดับ ระบบ CMA ในแต่ละภาคจะเลือกรับสัญญาณผู้ใช้งานที่แตกต่างกันดังเช่นกรณีแรก โดยเมื่อพิจารณาประกอบกับแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในแต่ละภาคดังรูปที่ 4.25 พบว่า ในภาคที่ 1 ระบบได้ทำการเลือกรับสัญญาณจากผู้ใช้งานที่ 1 โดยมีนัลล์เกิดขึ้นที่มุม 90° และ 150° ซึ่งเป็นมุมตกกระทบของสัญญาณผู้ใช้งานที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ระบบ CMA ในภาคที่ 2 ได้เลือกรับสัญญาณจากผู้ใช้งานที่ 2 โดยมีนัลล์เกิดขึ้นที่มุม 30° และ 150° ซึ่งเป็นมุมตกกระทบของสัญญาณผู้ใช้งานที่ 1 และ 3 ตามลำดับ และระบบ CMA ในภาคที่ 3 ได้เลือกรับสัญญาณจากผู้ใช้งานที่ 3 โดยมีนัลล์เกิดขึ้นที่มุม 30° และ 90° ซึ่งเป็นมุมตกกระทบของสัญญาณผู้ใช้งานที่ 1 และ 2 ตามลำดับ



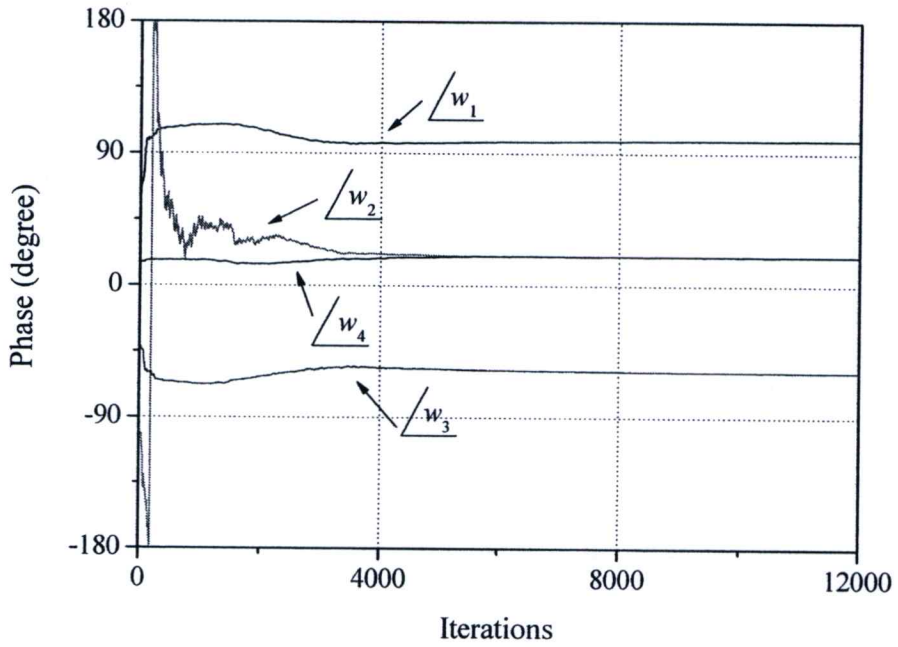
รูปที่ 4.26 ขนาดของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA ในภาคที่ 1 ในกรณีที่มีการปรับค่าคลื่นกรณีสอง



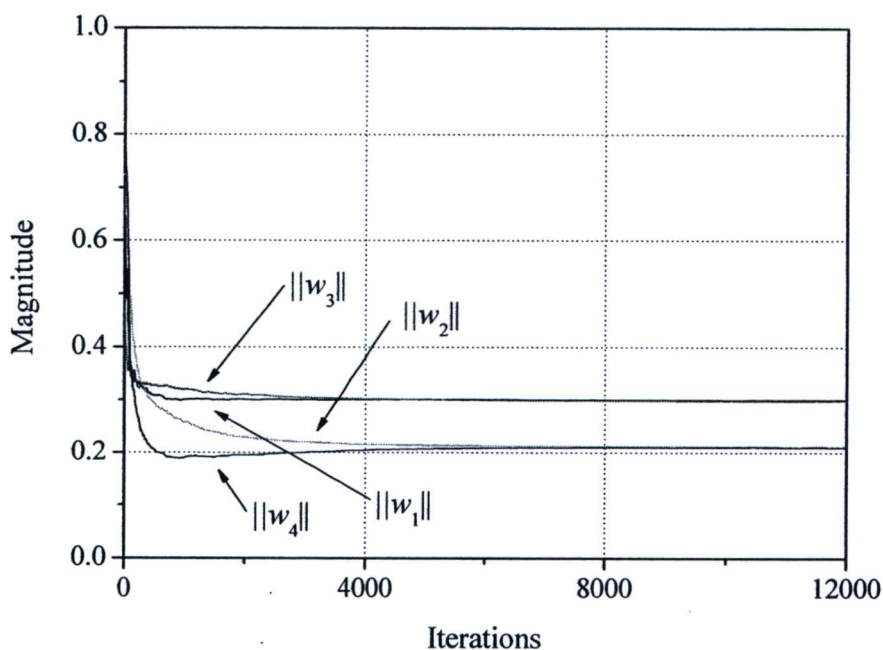
รูปที่ 4.27 เฟสของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA ในภาคที่ 1 ในกรณีที่มีการปรับค่าคลื่นกรณีสอง



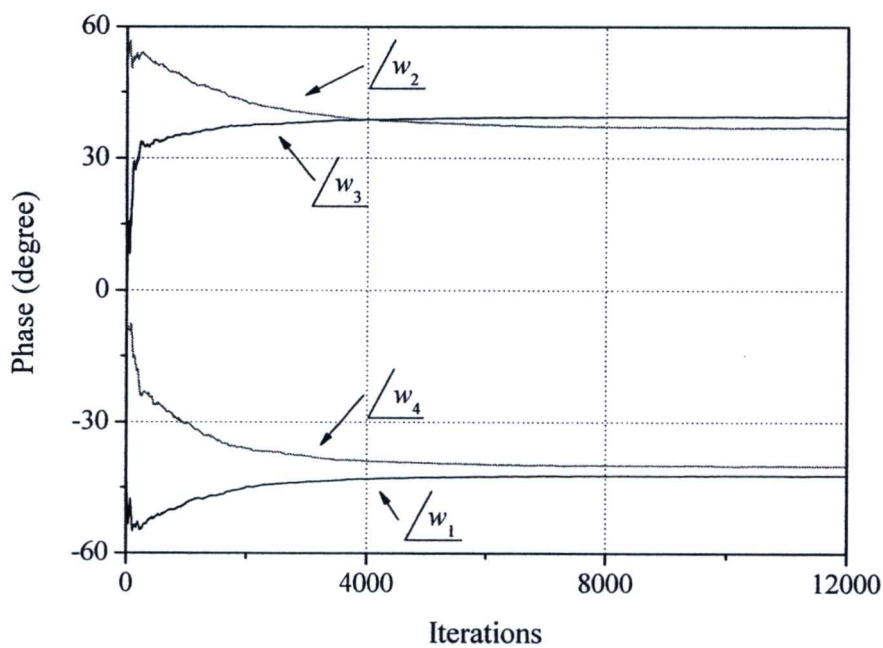
รูปที่ 4.28 ขนาดของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA ในภาคที่ 2 ในกรณีที่มีการปรับค่าคี่นกรณีที่สอง



รูปที่ 4.29 เฟสของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA ในภาคที่ 2 ในกรณีที่มีการปรับค่าคี่นกรณีที่สอง



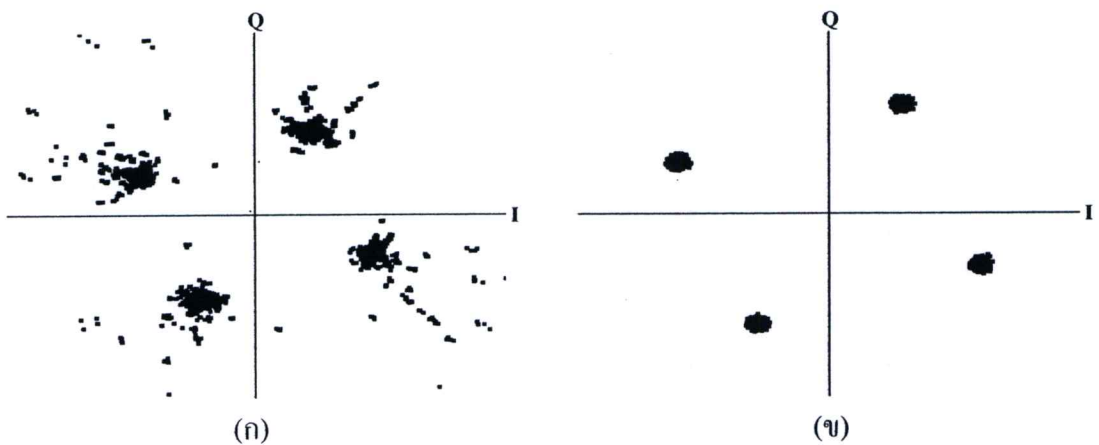
รูปที่ 4.30 ขนาดของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA ในภาคที่ 3 ในกรณีที่มีการปรับลำดับชั้นกรณีที่สอง



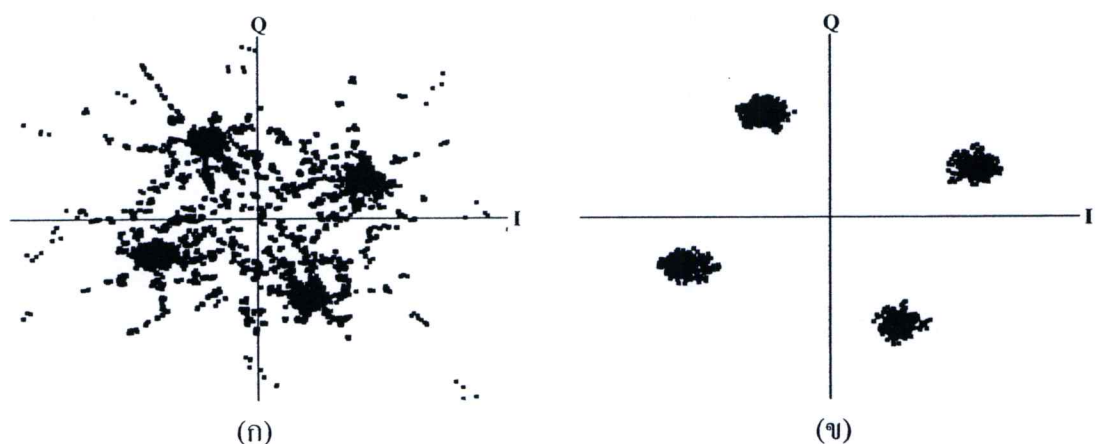
รูปที่ 4.31 เฟสของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA ในภาคที่ 3 ในกรณีที่มีการปรับลำดับชั้นกรณีที่สอง

รูปที่ 4.26-4.31 แสดงขนาดและเฟสของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA ในแต่ละภาค จากรูปพบว่า ระบบ CMA ทั้ง 3 ภาคจะทำการปรับทั้งขนาดและเฟสของค่าถ่วงน้ำหนักไป

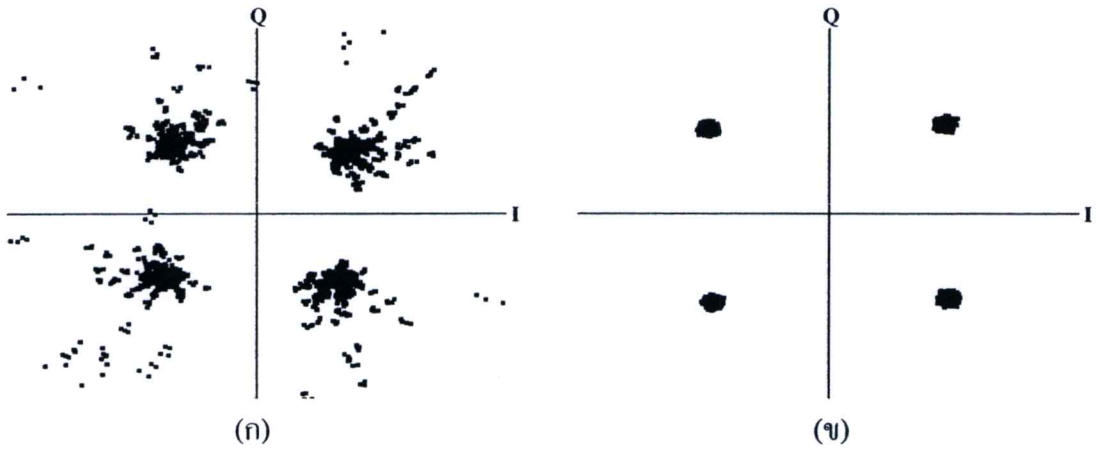
จนกระทั่งผู้เข้าหาคำตอบ โดยค่าถ่วงน้ำหนักหลังจากผู้เข้าแล้วของ CMA ในแต่ละภาคมีค่าแตกต่างกัน ซึ่งจะทำให้คำตอบของระบบ CMA ในแต่ละภาคมีความแตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ได้ในแต่ละภาค และเมื่อพิจารณาแผนภาพกลุ่มดาว (constellation diagram) ของสายอากาศแถวลำดับปรับเฟสด้วยอัลกอริทึม CMA สำหรับหลายผู้ใช้งานแบบขนานในแต่ละภาค ดังรูปที่ 4.32-4.34 จะเห็นได้ว่า หลังจากระบบในแต่ละภาคมีการผู้เข้าแล้ว สัญญาณจากผู้ใช้งานอื่นซึ่งจะถือเป็นสัญญาณแทรกสอดจะถูกกำจัดออกจากสัญญาณรับของสายอากาศ ดังเช่นในกรณีแรก



รูปที่ 4.32 แผนภาพกลุ่มดาว (constellation diagram) ของสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากสายอากาศแถวลำดับปรับเฟสด้วยอัลกอริทึม CMA สำหรับหลายผู้ใช้งานแบบขนานในภาคที่ 1 ในกรณีที่มีการปรับลำดับคลื่นที่ที่สอง หลังการทำซ้ำครั้งที่ (ก) 0 (ข) 4000



รูปที่ 4.33 แผนภาพกลุ่มดาว (constellation diagram) ของสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากสายอากาศแถวลำดับปรับเฟสด้วยอัลกอริทึม CMA สำหรับหลายผู้ใช้งานแบบขนานในภาคที่ 2 ในกรณีที่มีการปรับลำดับคลื่นที่ที่สอง หลังการทำซ้ำครั้งที่ (ก) 0 (ข) 4000



รูปที่ 4.34 แผนภาพกลุ่มดาว (constellation diagram) ของสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากสายอากาศแถวลำดับปรับเฟสด้วยอัลกอริทึม CMA สำหรับหลายผู้ใช้งานแบบขนานในภาคที่ 3 ในกรณีที่มีการปรับลำดับคลื่นครั้งที่สอง หลังการทำซ้ำครั้งที่ (ก) 0 (ข) 4000

จากผลการจำลองที่ได้ทั้งสองกรณี จะเห็นได้ว่า เมื่อกำหนดทิศทางลำดับคลื่นหลักของลำดับคลื่นเริ่มต้นในแต่ละภาคให้มีทิศทางที่แตกต่างกัน ระบบจะสามารถเลือกรับสัญญาณผู้ใช้งานตามต้องการได้ โดยจะเลือกรับสัญญาณในทิศทางที่ใกล้เคียงกับทิศทางของลำดับคลื่นหลัก ทั้งนี้เนื่องจากว่าระบบ CMA จะทำการเลือกรับสัญญาณที่มีค่ามากที่สุด ดังนั้นการจะเลือกรับสัญญาณผู้ใช้งานที่ต้องการในแต่ละภาค จึงต้องทำการกำหนดค่าลำดับคลื่นเริ่มต้นในแต่ละภาคให้มีทิศทางของลำดับคลื่นหลักชี้ไปในทิศทางเดียวกันหรือใกล้เคียงกับสัญญาณผู้ใช้งานที่ต้องการ เพื่อให้ระบบ CMA ในแต่ละภาคสามารถรับสัญญาณผู้ใช้งานที่ต้องการได้แรงที่สุด และเมื่อพิจารณาถึงระยะห่างของมุมตกกระทบของสัญญาณแต่ละผู้ใช้งานในกรณีแรกและกรณีที่สอง พบว่า ในกรณีที่สองซึ่งมีระยะห่างระหว่างมุมตกกระทบของสัญญาณแต่ละผู้ใช้งานที่น้อยกว่าในกรณีแรก มีการลู่อเข้าที่ช้ากว่าในกรณีแรกที่มีระยะห่างระหว่างมุมตกกระทบที่มากกว่า ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ระยะห่างระหว่างมุมตกกระทบของสัญญาณแต่ละผู้ใช้งานมีผลต่อพฤติกรรมการลู่อเข้าของระบบ โดยระยะห่างที่มากจะทำให้ระบบลู่อเข้าได้เร็วขึ้น

4.4 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอสายอากาศแถวลำดับปรับด้วยอัลกอริทึม CMA สำหรับหลายผู้ใช้งานแบบขนาน โดยใช้การปรับลำดับคลื่นทางดิจิทัลเป็นตัวเริ่มต้นให้กับระบบ จากผลการจำลองระบบแสดงให้เห็นว่า เมื่อไม่มีการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับระบบ ระบบจะรับสัญญาณผู้ใช้งานเดียวกันในทุกภาค แต่เมื่อมีการปรับลำดับคลื่นเริ่มต้นให้แตกต่างกันไปในแต่ละภาค จะทำให้ระบบสามารถรับ

สัญญาผู้ใช้งานได้หลายผู้ใช้งานโดยไม่ซ้ำกัน โดย CMA ในแต่ละภาคจะสามารถรับสัญญาผู้ใช้งานที่มีทิศทางของมุดตกระทบใกล้เคียงกับทิศทางของลำคลื่นหลักของตนเองมากที่สุด และทำการกำจัดสัญญาจากผู้ใช้งานอื่น ดังนั้น ในการใช้งาน จะสามารถกำหนดให้ระบบรับสัญญาผู้ใช้งานที่ต้องการในแต่ละภาคได้โดยการปรับลำคลื่นเริ่มต้นให้มีทิศทางใกล้เคียงกับทิศทางของมุดตกระทบของสัญญาผู้ใช้งานที่ต้องการรับ และผลที่ได้จากการจำลองแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของระยะห่างระหว่างสัญญาผู้ใช้งานแต่ละผู้ใช้งาน ซึ่งมีผลกระทบเช่นเดียวกับในระบบสายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA ในกรณีผู้ใช้งานเดี่ยว กล่าวคือ ระยะห่างระหว่างสัญญาผู้ใช้งานที่น้อย จะทำให้ระบบมีการลู่เข้าที่ช้าลง

บทที่ 5

การสร้างและการทดสอบ

5.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการสร้างและการทดสอบระบบสายอากาศแถวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA โดยใช้การสังเคราะห์ลำดับเส้นทางดิจิทัลเป็นตัวเริ่มต้น และเนื่องจากระบบทำงานแบบดิจิทัล ซึ่งอุปกรณ์ประมวลผลส่วนใหญ่มักจะรองรับการทำงานในระบบตัวเลขแบบจุดตรึง ดังนั้นในวิทยานิพนธ์บทนี้จึงได้ทำการศึกษาผลกระทบของความยาวคำ (wordlength) ที่มีต่อระบบ เพื่อหาค่าความยาวคำที่เหมาะสม โดยค่าที่ได้จะถูกนำไปใช้ในการสร้างระบบเพื่อใช้งาน โดยในบทนี้จะทดสอบด้วยการวัดค่าอินพุตของระบบ แล้วนำอินพุตที่ได้จำลองระบบ CMA ต่อไปเพื่อตรวจสอบการทำงานและประสิทธิภาพของระบบในการทำงานจริง

5.2 ผลกระทบของความยาวคำของสายอากาศแถวลำดับปรับตัว CMA โดยใช้การสังเคราะห์ลำดับเส้นทางดิจิทัลเป็นตัวเริ่มต้น

หน่วยประมวลผลส่วนใหญ่ในปัจจุบันมักจะรองรับการคำนวณค่าในระบบจุดตรึง เพื่อลดขนาดและต้นทุนของหน่วยประมวลผล ดังนั้น ในการออกแบบสายอากาศปรับตัว CMA โดยใช้การสังเคราะห์ลำดับเส้นทางดิจิทัลเป็นตัวเริ่มต้น จะต้องพิจารณาถึงความยาวคำ ที่เหมาะสมด้วย ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการแสดงผลตัวเลขแบบจุดตรึงและจุดลอยตัว ตลอดจนการจำลองระบบเพื่อหาค่าของความยาวคำที่เหมาะสม ซึ่งจะนำไปใช้ในการออกแบบระบบสายอากาศปรับตัวสำหรับใช้งานจริงต่อไป

5.2.1 การแสดงผลแบบจุดลอยตัวและการแสดงผลแบบจุดตรึง

โดยทั่วไปแล้ว การแสดงผลตัวเลขด้วยจำนวนทวินิยม (binary number) สามารถแสดงได้เป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ การแสดงผลตัวเลขแบบจุดลอยตัว และการแสดงผลตัวเลขแบบจุดตรึง โดยการแสดงผลแต่ละรูปแบบมีโครงสร้างดังนี้

5.2.1.1 การแสดงผลตัวเลขแบบจุดลอยตัว

การแสดงผลตัวเลขแบบจุดลอยตัวได้ถูกออกแบบโดยมีพื้นฐานจากมาตรฐาน IEEE 754 ด้วยความถูกต้องเดียว (single precision) ตัวเลขแบบจุดลอยตัวมักจะมีขนาดของความยาวคำค่อนข้างมาก การแสดงผลตัวเลขแบบจุดลอยตัวแสดงได้ดังรูปที่ 5.1 โดย s แสดงถึง

เครื่องหมายของตัวเลขแบบจุดลอยตัว โดยที่ค่า 1 จะมีความหมายว่าเป็นเครื่องหมายลบ exponent คือค่าของเลขชี้กำลัง มีขนาด 8 บิต โดยรวมสัญลักษณ์ของเลขชี้กำลังไปด้วย และ significant หรือ mantissa คือจำนวนเศษส่วนขนาด 23 บิต การแสดงผลแบบนี้เรียกว่า การแสดงทั้งเครื่องหมายและขนาด (sign and magnitude) เนื่องจากส่วนแสดงสัญลักษณ์เป็นบิตที่แยกตัวออกจากส่วนของจำนวนทั้งหมด โดยทั่วไปแล้ว ตัวเลขแบบจุดลอยตัวจะอยู่ในรูปแบบ [41]

$$(-1)^s \times (1 + \text{mantissa}) \times 2^{(\text{Exponent} - \text{Bias})} \quad (5.1)$$

โดยในกรณีความถูกต้องเดียว Bias จะมีค่าเป็น 127

โครงสร้างการแสดงผลตัวเลขแบบจุดลอยตัวเป็นดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 โครงสร้างการแสดงผลตัวเลขแบบจุดลอยตัว

5.2.1.2 การแสดงผลตัวเลขแบบจุดตรึง

การแสดงผลตัวเลขแบบจุดตรึงเป็นการแสดงผลโดยการกำหนดจุดฐาน (radix point) ในตำแหน่งที่จำเพาะเจาะจง ซึ่งจะทำให้จำนวนบิตทางด้านขวาและซ้ายของจุดฐานมีจำนวนที่ตายตัว โดยจำนวนบิตทางซ้ายของจุดฐานจะเรียกว่า integer bits และบิตที่อยู่ทางขวาของจุดฐานจะเรียกว่า fractional bits โครงสร้างการแสดงผลโดยทั่วไปของตัวเลขแบบจุดตรึงเป็นดังรูปที่ 5.2 [42]



รูปที่ 5.2 โครงสร้างการแสดงผลตัวเลขแบบจุดตรึง

ข้อได้เปรียบที่สำคัญในการใช้การแสดงผลตัวเลขแบบจุดตรึงในการประมวลผลข้อมูลก็คือการที่ระบบการแสดงผลตัวเลขแบบจุดตรึงสามารถทำงานในหน่วยประมวลผลส่วนใหญ่ได้โดยไม่ต้องการไลบรารีเพิ่มเติมในการคำนวณ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สำหรับหน่วยประมวลผล

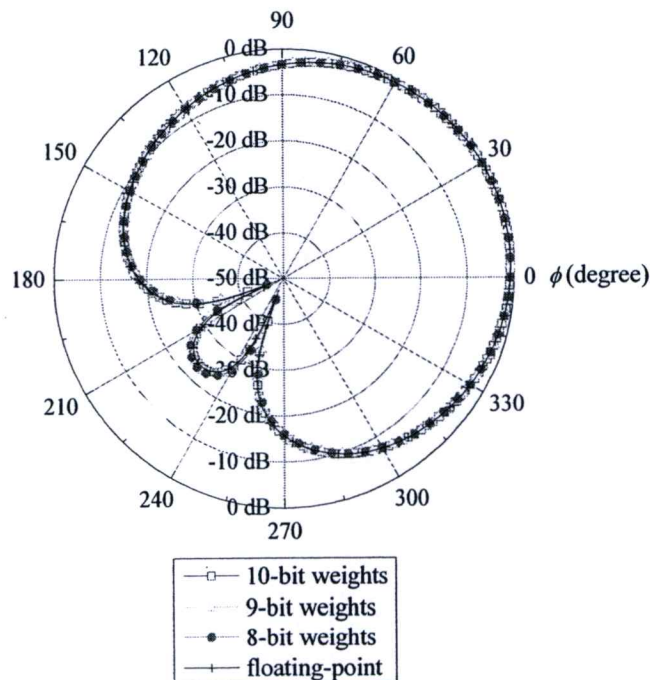
ที่ไม่มีส่วนของการประมวลผลแบบจุดลอยตัว การแสดงผลแบบจุดตรึงจะสามารถทำงานได้อย่างดี และมีประสิทธิภาพมากกว่า

5.2.2 ผลกระทบของความยาวคำที่มีต่อระบบ

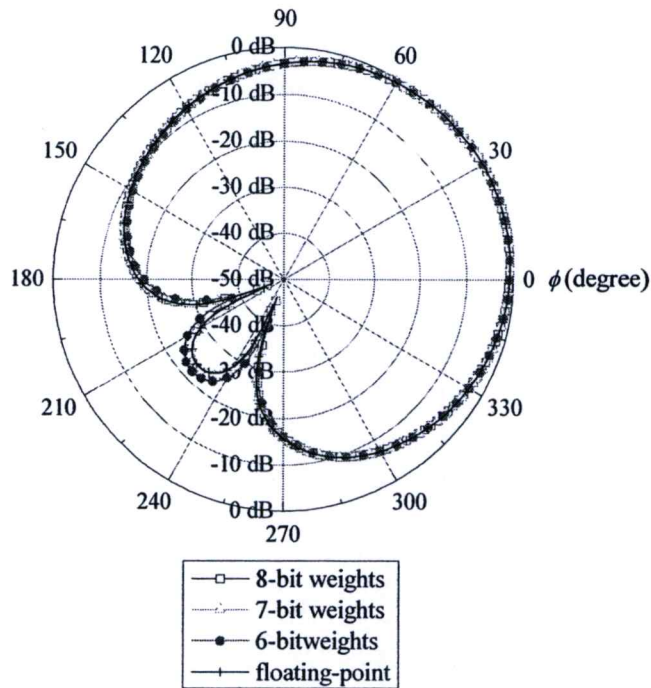
เนื่องจากระบบสายอากาศแถวลำดับปรับด้วยอัลกอริทึม CMA โดยการใช้การสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัลเป็นตัวเริ่มต้น เมื่อสร้างระบบขึ้นมาใช้งานจริง ระบบจะทำงานด้วยการคำนวณค่าแบบจุดตรึง ซึ่งการแทนค่าแบบจุดตรึงนั้น จำเป็นต้องกำหนดค่าความยาวคำที่เหมาะสมแก่การใช้งาน ดังนั้น จึงต้องศึกษาผลกระทบของค่าความยาวคำ เพื่อหาค่าความยาวคำที่เหมาะสมกับการใช้งาน [40]

5.2.2.1 ความยาวคำของค่าถ่วงน้ำหนักในการสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัล

ในการสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัลนั้น จะใช้การคูณค่าถ่วงน้ำหนักเข้ากับตัวประกอบแถวลำดับของสายอากาศแต่ละองค์ประกอบ ซึ่งในการทำงานของระบบจริงนั้น ค่าถ่วงน้ำหนักที่ใช้ในการสังเคราะห์ลำคลื่น จะเป็นค่าตัวเลขแบบจุดตรึง ดังนั้น จึงต้องทำการศึกษาผลกระทบของความยาวคำโดยทำการจำลองระบบสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัลโดยกำหนดให้ระบบใช้สายอากาศแถวลำดับปรับเฟสสี่ลำคลื่นแบนราบ ผลที่ได้จากการจำลองเป็นดังรูปที่ 5.3-5.4



รูปที่ 5.3 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่ได้จากการสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัล โดยใช้ค่าถ่วงน้ำหนักที่มีความยาวคำเป็น 10, 9, 8 บิต เทียบกับการใช้ค่าถ่วงน้ำหนักแทนค่าแบบจุดลอยตัว

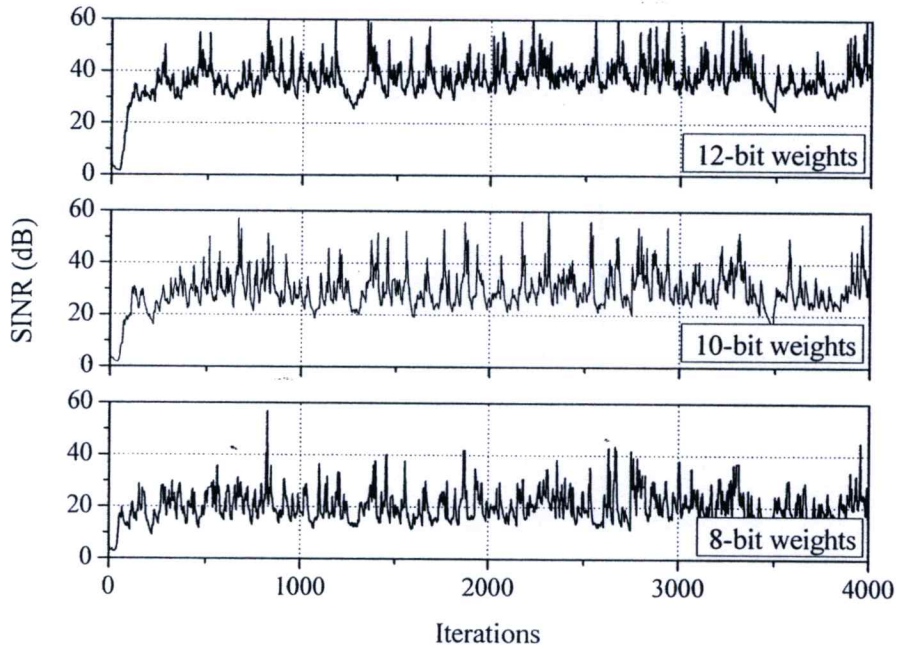


รูปที่ 5.4 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่ได้จากการสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัล โดยใช้ค่าถ่วงน้ำหนักที่มีความยาวค่าเป็น 8, 7, 6 บิต เทียบกับการใช้ค่าถ่วงน้ำหนักแทนค่าแบบจุดลอยตัว

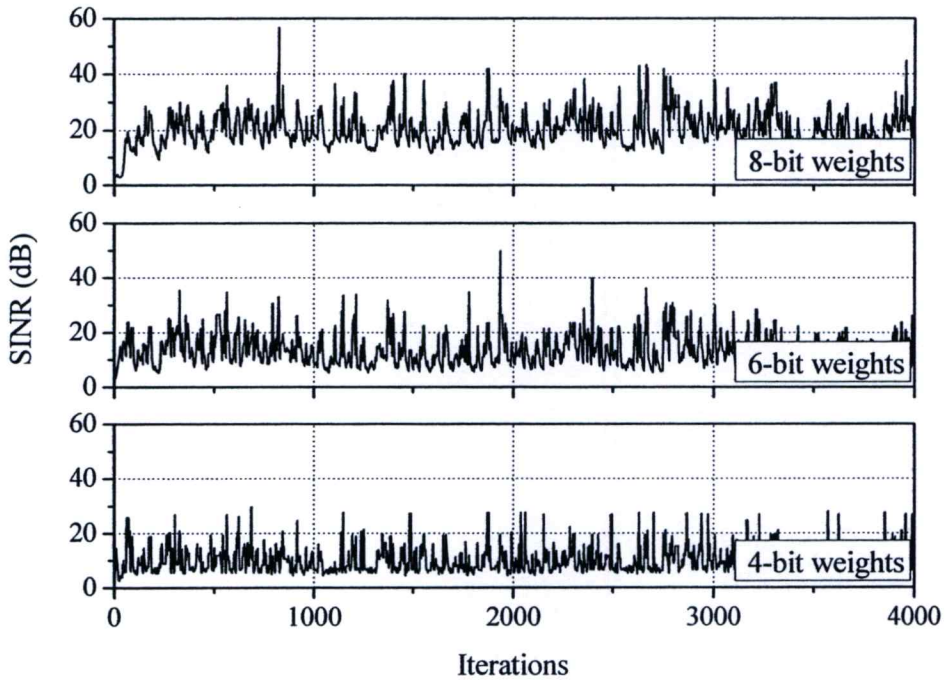
จากรูปที่ 5.3 จะเห็นได้ว่า เมื่อความยาวค่าของค่าถ่วงน้ำหนักมีค่าเป็น 10 บิต 9 บิต และ 8 บิตตามลำดับ แบบรูปการแผ่พลังงานที่ได้จะเหมือนกับแบบรูปการแผ่พลังงานที่ได้จากการใช้ค่าถ่วงน้ำหนักแบบจุดลอยตัว แต่เมื่อความยาวค่าของค่าถ่วงน้ำหนักมีค่าเป็น 7 บิต และ 6 บิต ดังรูปที่ 5.4 แบบรูปการแผ่พลังงานที่ได้ จะมีความแตกต่างจากแบบรูปการแผ่พลังงานที่ได้จากการใช้ค่าถ่วงน้ำหนักแบบจุดลอยตัว โดยแบบรูปการแผ่พลังงานของระบบสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัลที่มีความยาวค่าของค่าถ่วงน้ำหนักเป็น 7 บิต และ 6 บิต จะมีระดับของพหุพลังที่สูงกว่าแบบรูปการแผ่พลังงานของระบบที่ใช้ค่าถ่วงน้ำหนักแบบจุดลอยตัว ดังนั้น จากผลการจำลองที่ได้ จึงสรุปได้ว่า ค่าของความยาวค่าของค่าถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมในการใช้สังเคราะห์ลำคลื่นคือ 8 บิต เนื่องจาก ค่าความยาวค่าที่มีค่าน้อยกว่า 8 บิต จะทำให้ได้แบบรูปการแผ่พลังงานที่ไม่เหมือนกับแบบรูปการแผ่พลังงานจากค่าถ่วงน้ำหนักแบบจุดลอยตัว ในขณะที่เดียวกัน ค่าความยาวค่าที่มากกว่า 8 บิต จะทำให้ได้แบบรูปการแผ่พลังงานที่เหมือนกับแบบรูปการแผ่พลังงานจากค่าถ่วงน้ำหนักแบบจุดลอยตัวเช่นกัน แต่ค่าความยาวค่าที่เพิ่มมากขึ้นจะยิ่งสิ้นเปลืองทรัพยากรของระบบมากยิ่งขึ้น

5.2.2.2 ความยาวค่าของค่าถ่วงน้ำหนักในอัลกอริทึมการปรับตัว CMA

ต่อมาได้พิจารณาถึงผลกระทบของความยาวค่าของค่าถ่วงน้ำหนักในอัลกอริทึม CMA โดยจำลองระบบด้วยความยาวค่าของค่าถ่วงน้ำหนักค่าต่างๆ โดยในการจำลองระบบนั้น ได้กำหนดให้ระบบ ซึ่งมีการคำนวณในแบบจุดตรึง มีอินพุตและเอาต์พุตขนาด 8 บิต ระบบส่งเคราะห์ ล่าคลื่นทางดิจิทัลส่งเคราะห์ล่าคลื่นด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก 8 บิต กำหนดให้สัญญาณพึงประสงค์และสัญญาณแทรกสอดมีมุมตกกระทบ 30° และ 120° ตามลำดับ สัญญาณทั้งสองมีการมอดูเลตแบบ $\pi/4$ -QPSK ส่งผ่านช่องสัญญาณ AWGN โดยมีค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR) 20 dB และกำหนดให้สัญญาณแทรกสอดมีกำลังงานน้อยกว่าสัญญาณพึงประสงค์ 3 dB เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพการใช้งานจริง โดยในการจำลองนี้มีเป้าหมายให้อัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวนมีค่ามากกว่า 20 dB ผลการจำลองที่ได้เป็นดังรูป



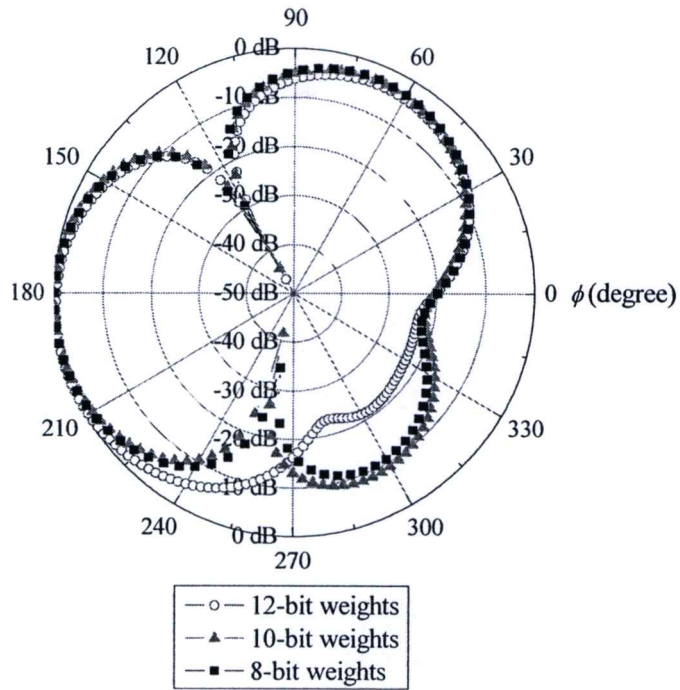
รูปที่ 5.5 แนววิถีอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวน (SINR) ของ CMA โดยใช้ค่าถ่วงน้ำหนักที่มีความยาวค่าเป็น 12, 10, 8 บิต ตามลำดับ



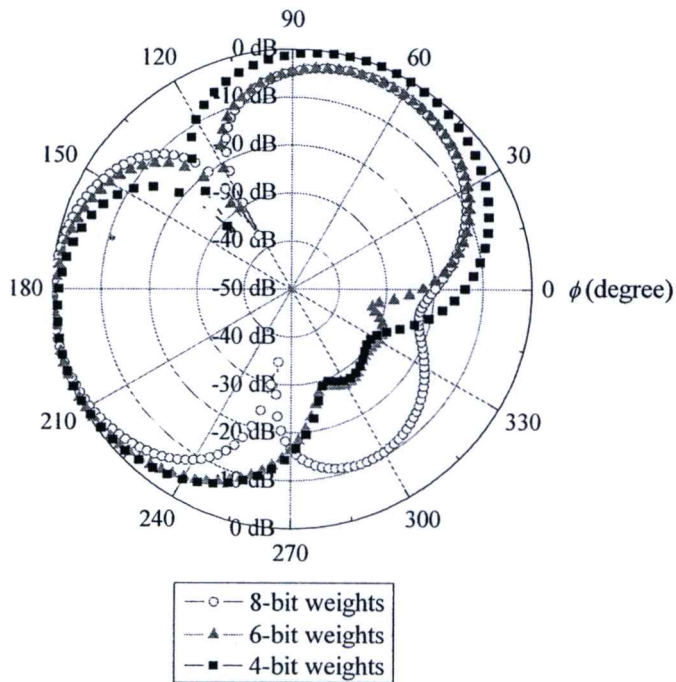
รูปที่ 5.6 แนววิถีอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวน (SINR) ของ CMA โดยใช้ค่าถ่วงน้ำหนักที่มีความยาวค่าเป็น 8, 6, 4 บิต ตามลำดับ

จากผลการจำลองระบบตามรูปที่ 5.6 พบว่า เมื่อใช้ค่าถ่วงน้ำหนักที่มีความยาวค่า 4 บิต และ 6 บิต ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวนโดยเฉลี่ยหลังการลู่เข้าของ CMA มีค่าต่ำกว่า 20 dB ในทางกลับกัน เมื่อใช้ค่าถ่วงน้ำหนักที่มีความยาวค่า 8 บิต ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวนโดยเฉลี่ยหลังการลู่เข้าของ CMA มีค่า 20 dB และค่าถ่วงน้ำหนักที่มีความยาวค่า 10 บิต และ 12 บิต ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวนโดยเฉลี่ยหลังการลู่เข้าของ CMA มีค่าสูงกว่า 20 dB

เพื่อตรวจสอบความถูกต้องในการทำงานของระบบ จึงได้พิจารณาแบบรูปการแผ่พลังงานประกอบด้วย โดยแบบรูปการแผ่พลังงานที่ได้เป็นดังรูปที่ 5.7-5.8



รูปที่ 5.7 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศหลังการลู่อื่น โดยใช้เวกเตอร์ค่าถ่วงน้ำหนักที่มีความยาวค่าเป็น 12, 10, 8 บิต ตามลำดับ

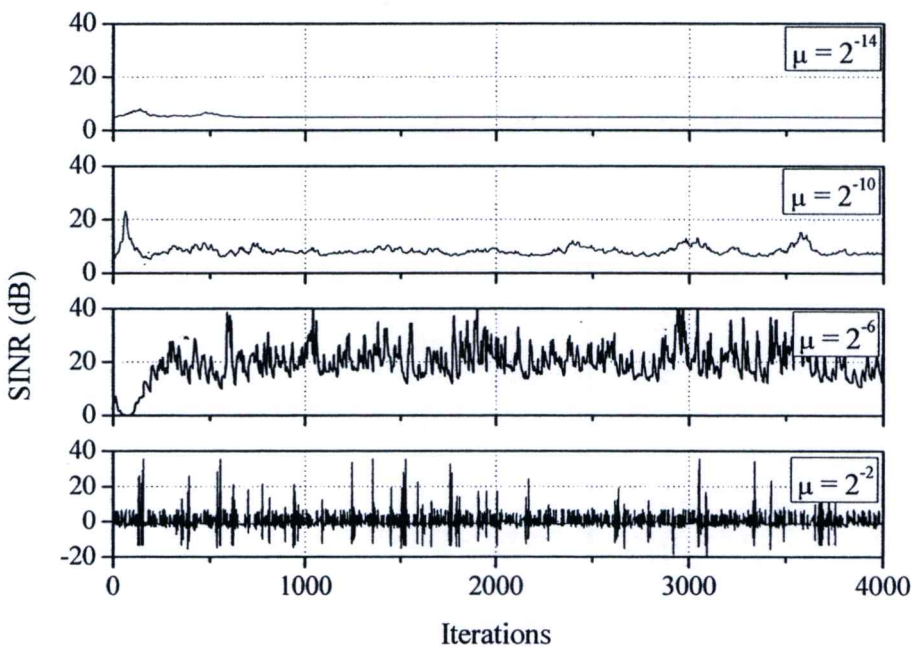


รูปที่ 5.8 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศหลังการลู่อื่น โดยใช้เวกเตอร์ค่าถ่วงน้ำหนักที่มีความยาวค่าเป็น 8, 6, 4 บิต ตามลำดับ

จากรูปที่ 5.7 พบว่า ที่ความยาวค่าของค่าถ่วงน้ำหนักมีค่าเป็น 12 บิต 10 บิต และ 8 บิต แบบรูปการแผ่พลังงานหลังการลู่เข้าของ CMA จะมีนัลล์เกิดขึ้นที่มุม 120° ซึ่งเป็นมุมตกกระทบของสัญญาณแทรกสอด แต่ที่ความยาวค่าของค่าถ่วงน้ำหนักมีค่าเป็น 6 บิต และ 4 บิต แบบรูปการแผ่พลังงานหลังการลู่เข้าของ CMA จะมีนัลล์เกิดขึ้นที่มุม 125° และ 135° ตามลำดับ ซึ่งไม่ตรงกับมุมตกกระทบของสัญญาณแทรกสอด ทำให้ระบบไม่สามารถกำจัดสัญญาณแทรกสอดได้ ซึ่งผลที่ได้จากแบบรูปการแผ่พลังงานนี้ สอดคล้องกับผลที่ได้จากแนววิถีอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวน ของ CMA ทุกกรณี

5.2.2.3 ผลกระทบของค่าคงที่ขนาดของระดับขั้น (step-size) ที่มีต่อระบบ

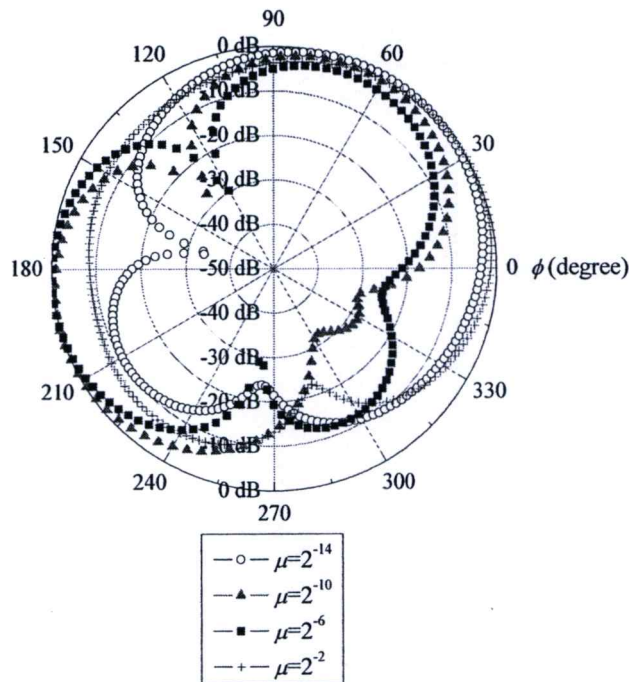
ค่าคงที่ขนาดของระดับขั้น เป็นค่าที่มีผลต่อการทำงานของระบบอย่างมากค่าหนึ่ง ดังนั้น ในหัวข้อนี้จะทำการศึกษาดังผลกระทบของค่าคงที่ขนาดของระดับขั้นที่มีต่อการทำงานของระบบ CMA โดยทำการจำลองระบบด้วยระบบที่มีคุณสมบัติต่างๆ ตามที่ได้กำหนดไว้ใน 5.2.2.2 ผลการจำลองที่ได้เป็นดังรูป



รูปที่ 5.9 แนววิถีอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวน (SINR) ของ CMA โดยค่าคงที่ขนาดของระดับขั้น (step-size) มีค่า 2^{-14} , 2^{-10} , 2^{-6} และ 2^{-2} ตามลำดับ

จากรูปที่ 5.9 พบว่า เมื่อค่าคงที่ขนาดของระดับขั้นมีค่าเป็น 2^{-6} อัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวนของ CMA มีค่ามากกว่า 20 dB แต่เมื่อค่าคงที่ขนาดของระดับ

ขั้น มีค่าลดลงเป็น 2^{-10} และ 2^{-14} และเพิ่มขึ้นเป็น 2^{-2} ระบบจะทำงานผิดพลาด ไม่สามารถกำจัดสัญญาณแทรกสอดได้ และเมื่อพิจารณาแบบรูปการแผ่พลังงานหลังการลู่เข้าของ CMA พบว่าที่ค่าคงที่ขนาดของระดับขั้น มีค่าเป็น 2^{-14} , 2^{-10} และ 2^{-2} แบบรูปการแผ่พลังงานหลังการลู่เข้าของ CMA ไม่มีนัลล์เกิดขึ้นที่มุม 120° ซึ่งเป็นมุมตกกระทบของสัญญาณแทรกสอด ในขณะที่เมื่อค่าคงที่ขนาดของระดับขั้นมีค่าเป็น 2^{-6} แบบรูปการแผ่พลังงานหลังการลู่เข้าของ CMA มีนัลล์เกิดขึ้นที่มุม 120° ซึ่งเป็นมุมตกกระทบของสัญญาณแทรกสอด ซึ่งแบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อปรับค่าคงที่ขนาดของระดับขั้นค่าต่างๆ ได้ผลสอดคล้องกับผลที่ได้จากแนววิถีอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอด และสัญญาณรบกวนของ CMA

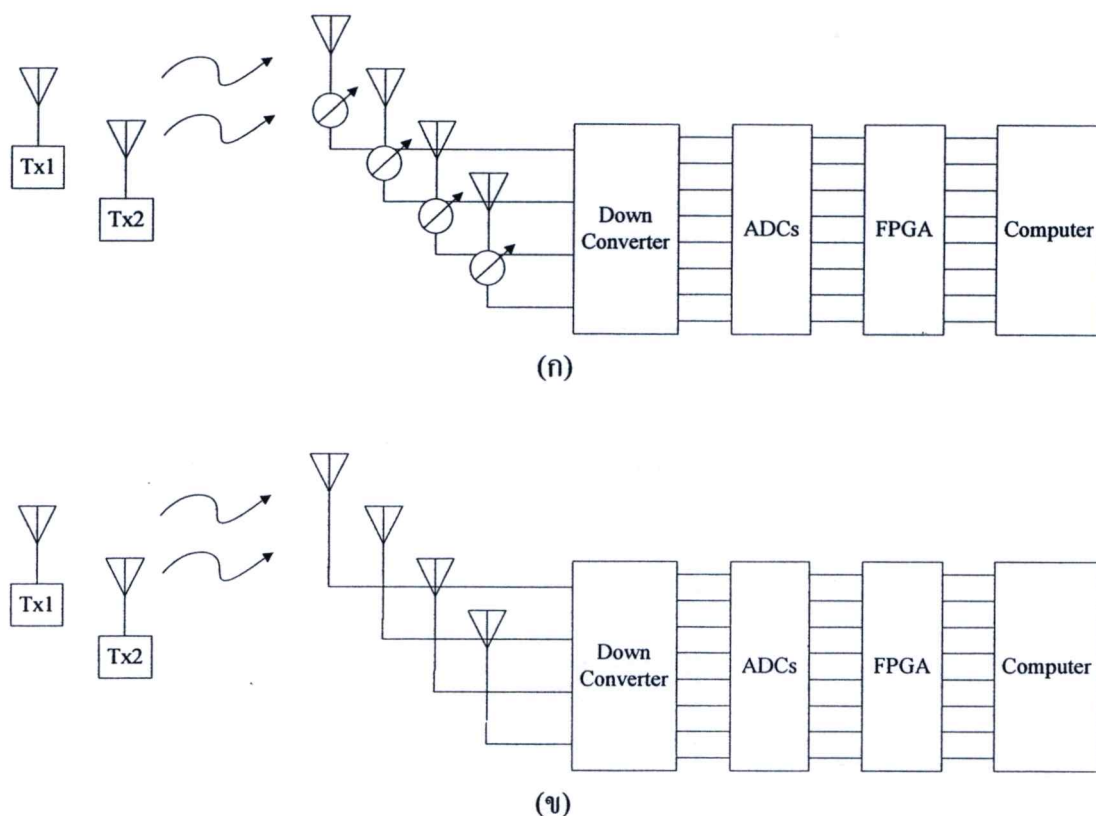


รูปที่ 5.10 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศหลังการลู่เข้า โดยค่าคงที่ขนาดของระดับขั้น (step-size) มีค่า 2^{-14} , 2^{-10} , 2^{-6} และ 2^{-2} ตามลำดับ

จากผลการจำลองที่ได้ แสดงให้เห็นว่า ค่าคงที่ขนาดของระดับขั้น (step-size) มีผลต่อการทำงานของระบบ โดยค่าคงที่ขนาดของระดับขั้น (step-size) ที่เหมาะสมเท่านั้นที่จะสามารถทำให้ระบบทำงานได้ไม่ผิดพลาด โดยในการจำลองครั้งนี้ ค่าคงที่ขนาดของระดับขั้น (step-size) ที่เหมาะสมมีค่า 2^{-6}

5.3 การสร้างและทดสอบระบบ

ในหัวข้อนี้จะนำเสนอการสร้างระบบสายอากาศแถวลำดับปรับด้วยอัลกอริทึม CMA และทดสอบระบบในสภาพการใช้งานจริง เพื่อเก็บค่าอินพุตไปใช้ในการจำลอง CMA โดยระบบที่นำมาใช้นั้น จะใช้สายอากาศแถวลำดับปรับเฟสด้วยองค์ประกอบสวิตช์ลำดับชั้นได้ในการรับสัญญาณ โครงสร้างของระบบที่ทำการทดสอบเป็นดังรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.11 โครงสร้างสายอากาศแถวลำดับปรับด้วยอัลกอริทึม CMA ที่นำมาใช้ในการทดสอบ เก็บค่าอินพุตของระบบ โดย (ก) ระบบที่ใช้วงจรเลื่อนเฟสในการปรับลำดับชั้น (ข) ระบบที่ใช้การสังเคราะห์ลำดับชั้นทางดิจิทัลเป็นตัวเริ่มต้น

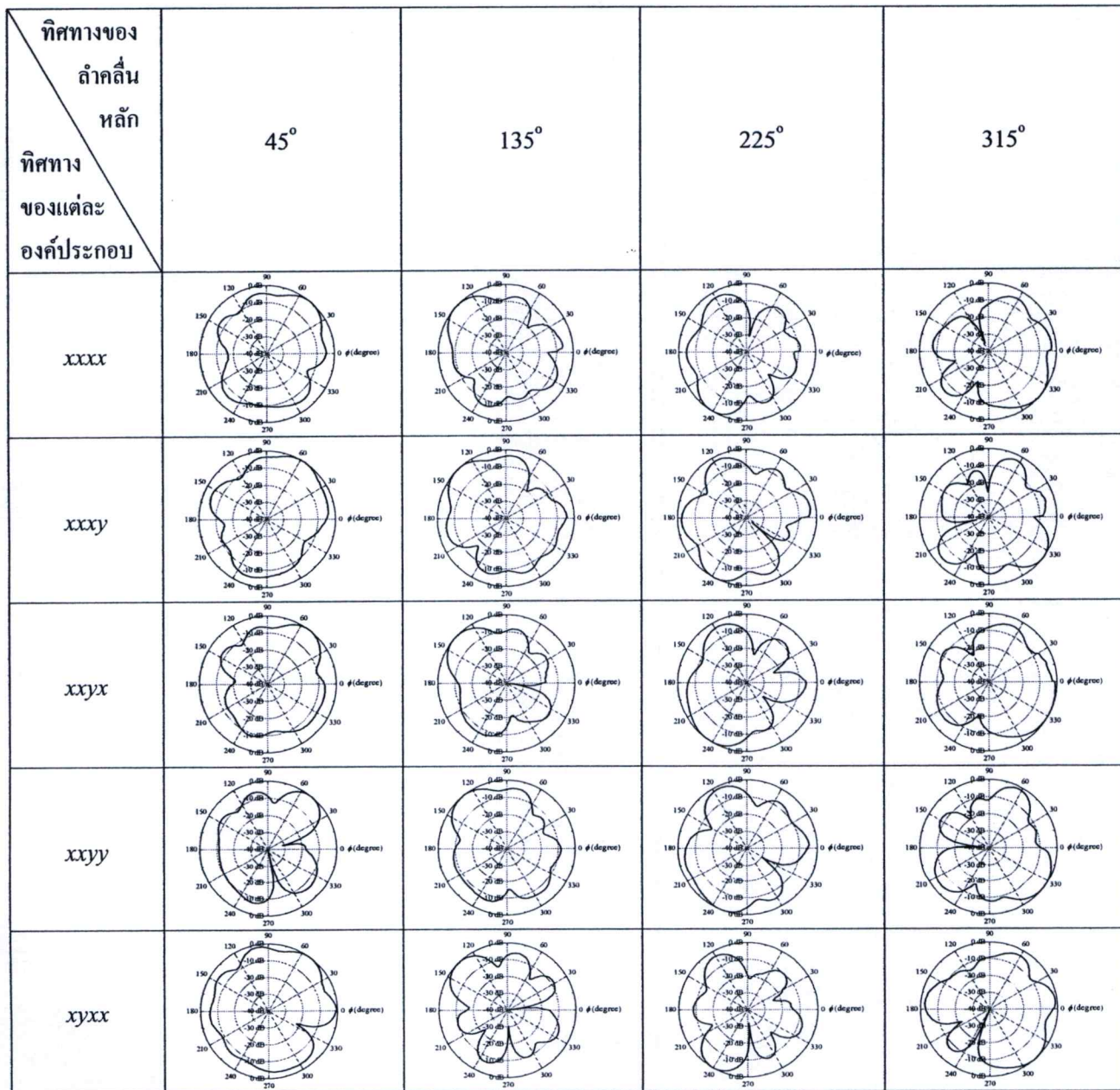
ในการทดสอบเพื่อเก็บค่าอินพุตของระบบนั้น กำหนดให้สัญญาณพียงประสงค์และสัญญาณแทรกสอดมีการมอดูเลตแบบ QPSK โดยสัญญาณพียงประสงค์มีกำลังงานสูงกว่าสัญญาณแทรกสอด 3 dB มุมตกกระทบของสัญญาณพียงประสงค์และสัญญาณแทรกสอดเป็น 120° และ 60° ตามลำดับ สัญญาณที่รับได้จากสายอากาศแถวลำดับจะถูกแปลงความถี่ลง จากนั้นจะทำการแปลงสัญญาณเป็นดิจิทัลและใช้คอมพิวเตอร์จับสัญญาณผ่านทางบอร์ด FPGA แล้วนำสัญญาณอินพุตที่รับได้ไปใช้ในการจำลองการปรับด้วยอัลกอริทึม CMA ต่อไป ในการทดสอบเก็บค่าอินพุตนี้ได้แยก

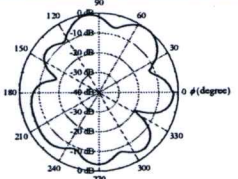
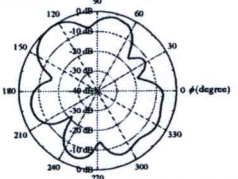
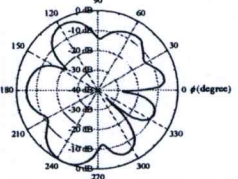
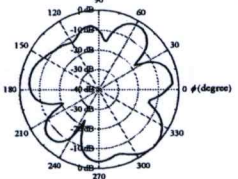
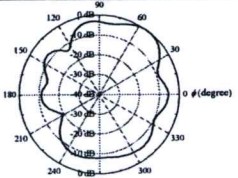
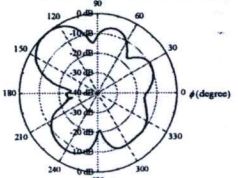
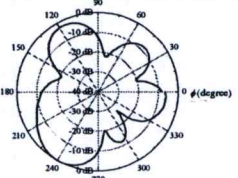
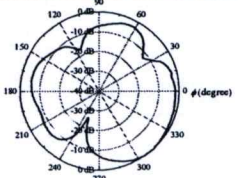
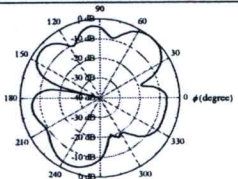
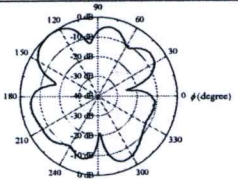
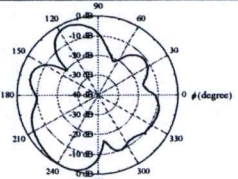
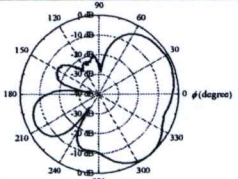
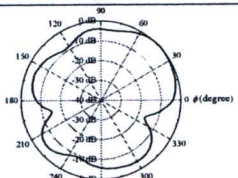
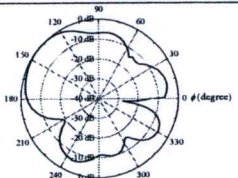
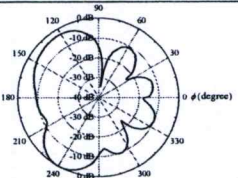
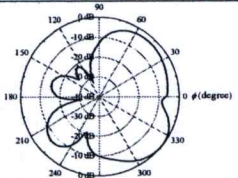
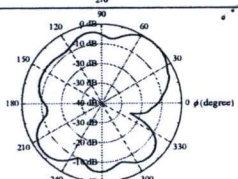
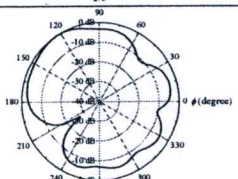
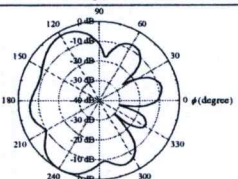
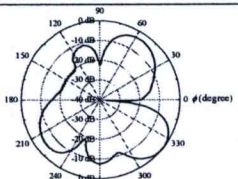
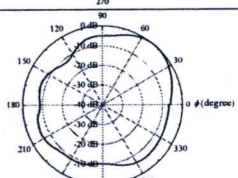
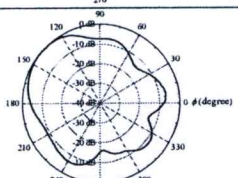
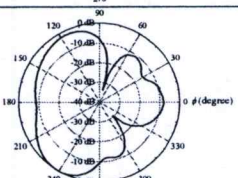
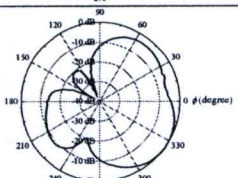
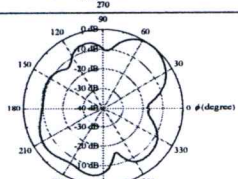
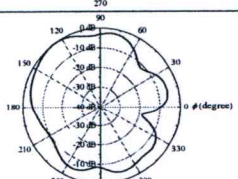
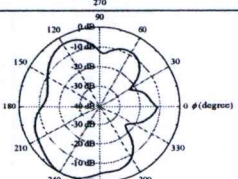
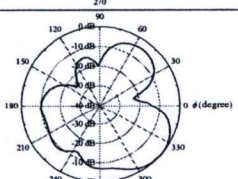
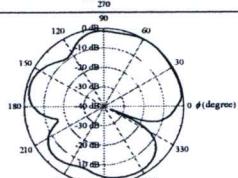
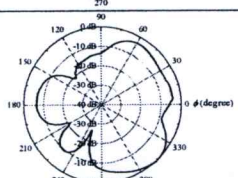
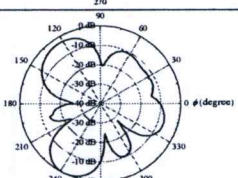
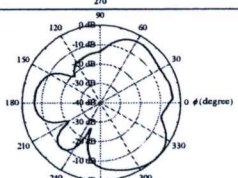
การทดสอบออกเป็นกรทดสอบเก็บค่าอินพุตของระบบสายอากาศแวลำดับปรับด้วย อัลกอริทึม CMA โดยใช้การสวิตซ์ลำคลื่นเริ่มต้นด้วยวงจรเลื่อนเฟส เทียบกับการใช้วิธีการสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัล ผลการทดสอบที่ได้เป็นดังนี้

5.3.1 การทดสอบสายอากาศ

จากการทดสอบสายอากาศแวลำดับปรับเฟสด้วยองค์ประกอบสวิตซ์ลำคลื่น ได้ที่ใช้เป็นสายอากาศรับของระบบ ได้แบบรูปการแผ่พลังงานเป็นดังตาราง

ตารางที่ 5.1 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแวลำดับปรับเฟสด้วยองค์ประกอบสวิตซ์ลำคลื่นที่ได้จากการทดสอบ



ทิศทางของ ล้อคลื่น หลัก ทิศทาง ของแต่ละ องค์ประกอบ	45°	135°	225°	315°
$xyxy$				
$xyyx$				
$xyyy$				
$yxxx$				
$yxyx$				
$yxyx$				
$yxyy$				
$yyxx$				

ทิศทางของ ลาคี่น หลัก ทิศทาง ของแต่ละ องค์ประกอบ	45°	135°	225°	315°
yyxy				
yyyx				
yyyy				

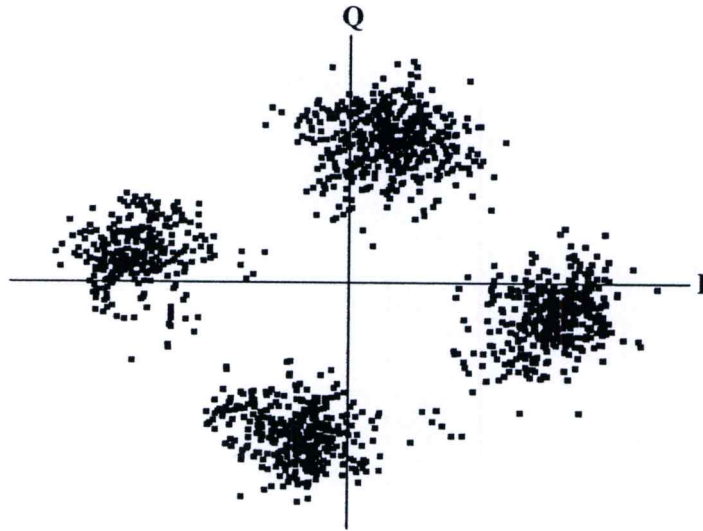
5.3.2 การทดสอบและจำลองระบบ

ในการทดสอบเพื่อเก็บค่าอินพุตของระบบสายอากาศแกลวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA นั้น ได้แบ่งการทดสอบออกเป็นสองแบบ คือการทดสอบเก็บค่าอินพุตของระบบ โดยใช้วงจรเลื่อนเฟสในการสวิตช์ลาคี่นเริ่มต้น และการทดสอบเก็บค่าอินพุตของระบบ โดยไม่ใช้วงจรเลื่อนเฟส แต่จะใช้วิธีการสังเคราะห์ลาคี่นทางดิจิทัลในการปรับลาคี่นแทน

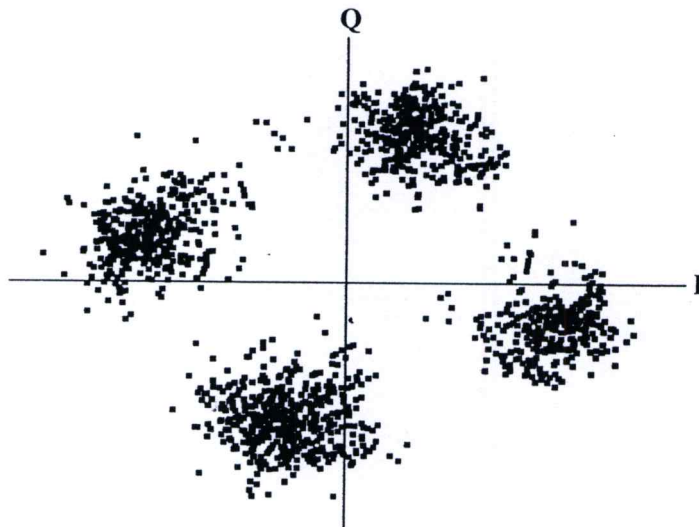
ในการทดสอบเพื่อเก็บค่าอินพุตของระบบโดยใช้วงจรเลื่อนเฟสนั้น ได้เลือกการสวิตช์ลาคี่น โดยให้ลาคี่นหลักมีทิศทาง 135° เพื่อให้ลาคี่นหลักอยู่ในทิศทางที่ใกล้เคียงกับทิศทางของมุมตกกระทบของสัญญาณพึงประสงค์ โดยปรับทิศทางของลาคี่นในแต่ละองค์ประกอบของสายอากาศแกลวลำดับให้เป็น xxxx ตามลำดับ เนื่องจากจะทำให้ได้ลาคี่นเริ่มต้นมีทิศทางของลาคี่นหลักใกล้เคียงกับทิศทางของสัญญาณพึงประสงค์และรับสัญญาณแทรกสอดได้ต่ำที่สุด

สัญญาณที่สายอากาศแกลวลำดับรับได้ จะถูกเก็บเป็นข้อมูลในคอมพิวเตอร์ผ่านทางบอร์ด FPGA เพื่อนำมาใช้เป็นอินพุตในการจำลอง CMA โดยการเก็บข้อมูลแต่ละครั้ง จะเก็บข้อมูลได้เป็นจำนวน 4096 ตัวอย่าง เนื่องด้วยข้อจำกัดทางด้านฮาร์ดแวร์ของบอร์ด FPGA เอง ผลการจำลองระบบ CMA ที่ได้เมื่อนำข้อมูลสัญญาณที่สายอากาศรับได้ป้อนเป็นอินพุตให้กับ CMA นั้น เอาต์พุตที่ได้จากระบบ CMA หลังการลู่เข้าแล้ว เป็นดังรูปที่ 5.12 โดยรูป (ก) เป็นเอาต์พุตที่ได้จากระบบที่

ใช้วงจรถ่ายเฟสในการปรับค่าคลื่นเริ่มต้น และ (ข) เป็นเอาต์พุตที่ได้จากระบบที่ใช้การสังเคราะห์
ค่าคลื่นทางดิจิทัลเป็นตัวเริ่มต้น



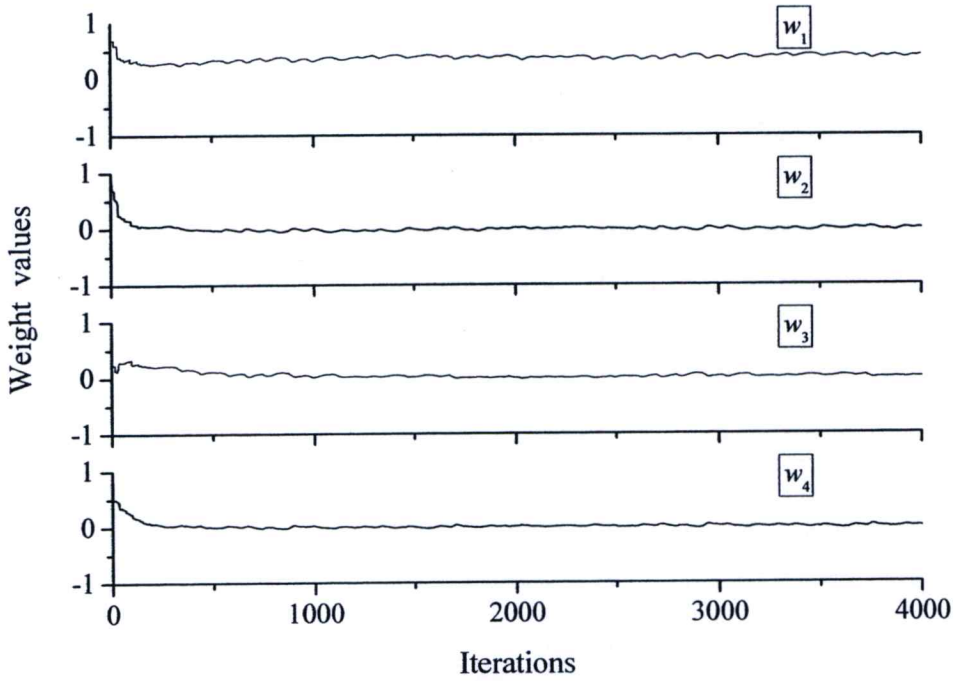
(ก)



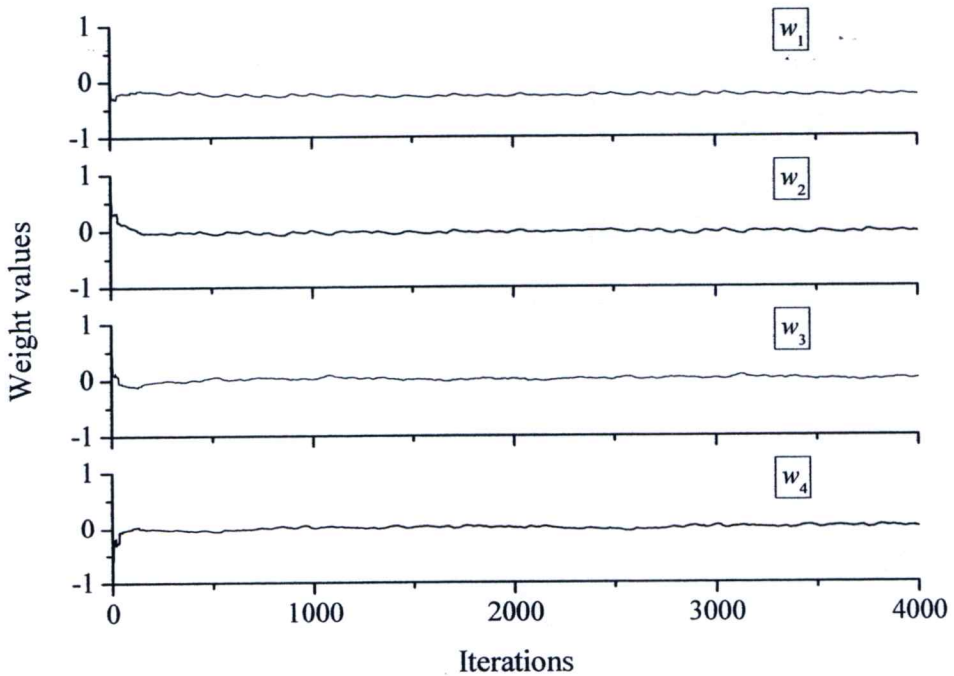
(ข)

รูปที่ 5.12 แผนภาพกลุ่มดาว (constellation diagram) ที่ได้จากเอาต์พุตของระบบ CMA หลังการ
ทำซ้ำครั้งที่ 2048 โดย (ก) เอาต์พุตที่ได้จากระบบที่ใช้วงจรถ่ายเฟสในการปรับค่าคลื่น
เริ่มต้น (ข) เอาต์พุตที่ได้จากระบบที่ใช้การสังเคราะห์ค่าคลื่นทางดิจิทัลเป็นตัวเริ่มต้น

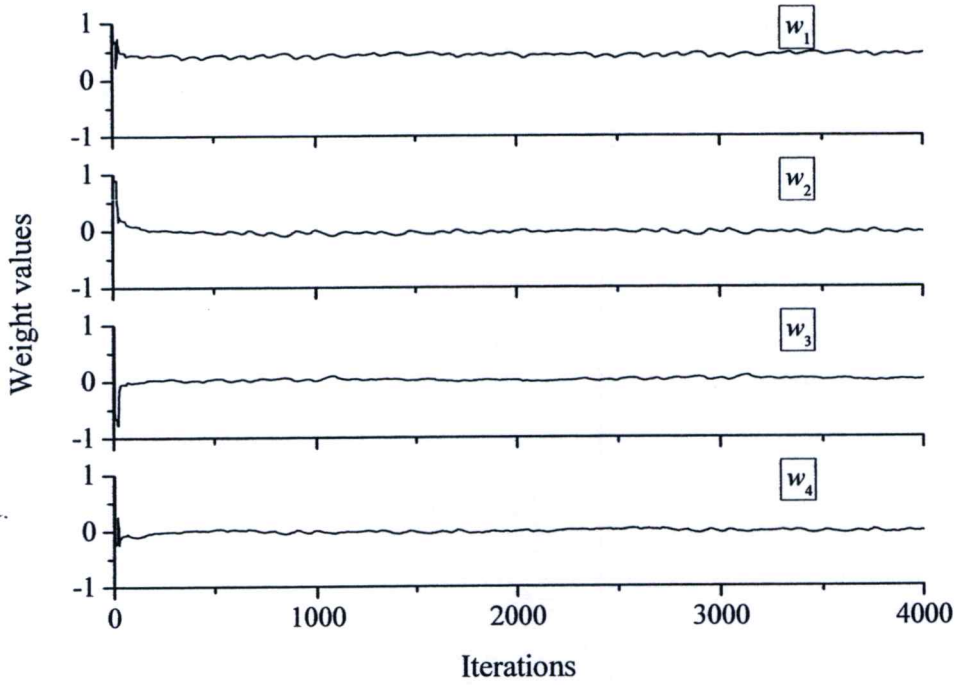
ในการตรวจสอบการทำงานของระบบรวมไปถึงความถูกต้องในการทำงานของระบบ จำเป็นต้องใช้ค่าถ่วงน้ำหนักเข้ามาช่วยในการคำนวณและพิจารณา โดยค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้จาก CMA เป็นดังรูปที่ 5.13-5.16



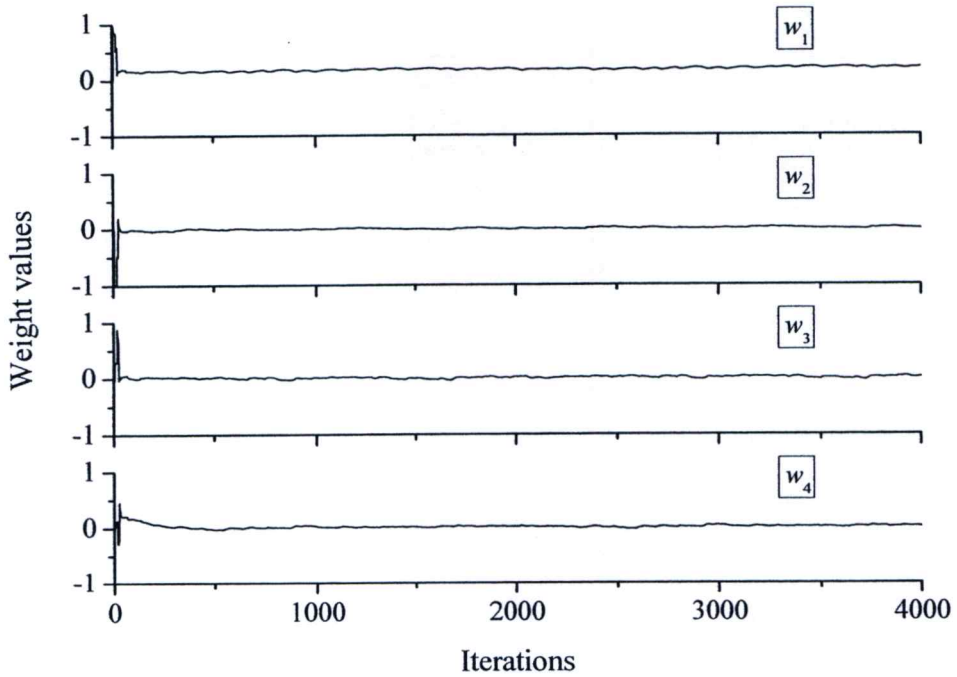
รูปที่ 5.13 ค่าจริงของค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้จากระบบ CMA โดยใช้วงจรถ่วงน้ำหนักในการปรับค่าคลื่น



รูปที่ 5.14 ค่าจินตภาพของค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้จากระบบ CMA โดยใช้วงจรถ่วงน้ำหนักในการปรับค่าคลื่น

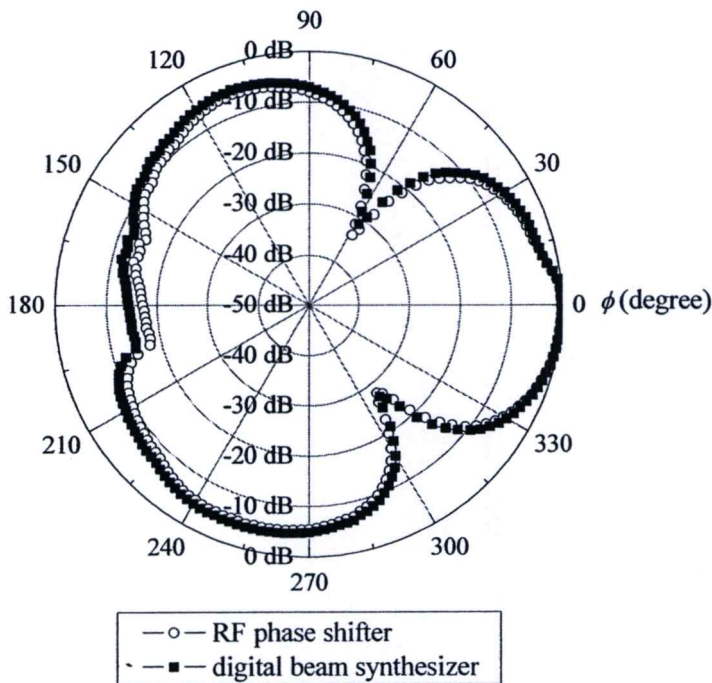


รูปที่ 5.15 ค่าจริงของค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้จากระบบ CMA โดยใช้การสังเคราะห์ลำดับเส้นทางดิจิทัลเป็นตัวเริ่มต้น



รูปที่ 5.16 ค่าจินตภาพของค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้จากระบบ CMA โดยใช้การสังเคราะห์ลำดับเส้นทางดิจิทัลเป็นตัวเริ่มต้น

เมื่อนำค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้มาคำนวณร่วมกับแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแต่ละองค์ประกอบ จะได้แบบรูปการแผ่พลังงานหลังการลู่อเข้าของ CMA เป็นดังรูปที่ 5.17



รูปที่ 5.17 แบบรูปการแผ่พลังงานหลังการลู่อเข้าของ CMA

จากแบบรูปการแผ่พลังงานหลังการลู่อเข้าที่ได้ พบว่า ทั้งระบบ CMA โดยใช้วงจรเลื่อนเฟสในการปรับค่าคลื่นเริ่มต้นให้กับระบบ และระบบที่ใช้การสังเคราะห์ค่าคลื่นทางดิจิทัลเป็นตัวเริ่มต้น สามารถปรับค่าคลื่นให้รับสัญญาณพึงประสงค์ รวมทั้งปรับนัลล์ให้อยู่ในทิศทาง 59° ซึ่งใกล้เคียงกับทิศทางของมุมตกกระทบของสัญญาณแทรกสอดได้ โดยแบบรูปการแผ่พลังงานของทั้งสองระบบมีความคล้ายคลึงกัน แต่มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อยไม่เกิน 2 dB

เพื่อเป็นการตรวจสอบว่าระบบรับสัญญาณพึงประสงค์จริง ไม่ใช่สัญญาณแทรกสอด จึงได้ทำการคำนวณผลตอบสนองรวมของระบบ จากสมการ (3.3)

$$q = w^H H$$

โดยในกรณีใช้วงจรเลื่อนเฟสเป็นตัวปรับค่าคลื่นเริ่มต้นให้กับระบบ ซึ่งมีค่าถ่วงน้ำหนักหลังจากลู่อเข้าเป็น $[0.3434 - 0.2318j \quad 0.0074 - 0.0039j \quad -0.0167 + 0.0112j \quad 0.0109 + 0.0013j]^T$ จะมีผลตอบสนองรวมของระบบเป็น $q = [-0.4426 + 1.0804j \quad -0.2819 + 0.1633j]$ หรือ $q = [1.1676e^{j1.9596} \quad 0.3258e^{j2.6166}]$ ส่วนในกรณีใช้การสังเคราะห์ค่าคลื่นทางดิจิทัลเป็นตัวเริ่มต้นให้กับ

ระบบ ซึ่งจะมีค่าถ่วงน้ำหนักเป็น $[0.3773+0.1711j \quad 0.0022-0.0080j \quad -0.0032+0.0199j$
 $0.0046+0.0100j]^T$ จะมีผลตอบสนองรวมของระบบเป็น $\mathbf{q} = [0.6730+0.9870j \quad 0.0066+0.3057j]$
 หรือ $\mathbf{q} = [1.1945e^{j0.9724} \quad 0.3058e^{j1.5492}]$ จากผลตอบสนองรวมของระบบที่ได้ยืนยันได้เป็นอย่างดีว่า
 ระบบทั้งสองสามารถรับสัญญาณพึงประสงค์และกำจัดสัญญาณแทรกสอดได้อย่างถูกต้อง

5.4 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการสร้างระบบขึ้นเพื่อนำมาทดสอบการใช้งานจริง โดยก่อนที่จะสร้างระบบขึ้นมานั้น จำเป็นจะต้องรู้ค่าความยาวคำที่เหมาะสมเสียก่อน เนื่องจากการทำงานของระบบจะทำงานในระบบแสดงผลตัวเลขแบบจุดตรึง โดยจะต้องศึกษาผลกระทบของความความคำของค่าถ่วงน้ำหนักที่มีผลต่อระบบสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัล ค่าความยาวคำของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA และผลกระทบของค่าคงที่ขนาดของระดับขั้น (step-size) ที่มีต่อระบบ หลังจากที่ได้ทำการศึกษาแล้วพบว่า ค่าถ่วงน้ำหนักของระบบสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัลนั้น มีค่าความยาวที่เหมาะสมคือ 8 บิต เนื่องจากความยาวคำที่มากกว่า 8 บิตนั้น จะทำให้ได้แบบรูปการแผ่พลังงานที่ไม่แตกต่างไปจากแบบรูปการแผ่พลังงานที่ได้จากระบบที่ใช้ค่าถ่วงน้ำหนักที่มีความยาวคำจำนวน 8 บิต และระบบที่ใช้การแสดงผลตัวเลขแบบจุดลอยตัว ในขณะที่ค่าความยาวคำที่น้อยกว่า 8 บิต จะทำให้ได้แบบรูปการแผ่พลังงานที่แตกต่างจากระบบที่ใช้การแสดงผลตัวเลขแบบจุดลอยตัว และยังมีพหุหลังที่สูงกว่าอีกด้วย

ต่อมา เมื่อได้ศึกษาถึงผลกระทบของความยาวคำของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA พบว่า เมื่อความยาวคำของค่าถ่วงน้ำหนักมีค่า 6 บิต และ 4 บิต จะทำให้ได้ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่น้อย แต่เมื่อความยาวคำของค่าถ่วงน้ำหนักมีค่าเป็น 8 บิต จะทำให้อัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวนมีค่าประมาณ 20 dB และเมื่อค่าความยาวคำของค่าถ่วงน้ำหนักมีค่าเป็น 10 บิต และ 12 บิต จะทำให้ได้อัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่มากกว่า 20 dB ดังนั้น จึงได้เลือกใช้ค่าความยาวคำของค่าถ่วงน้ำหนักของ CMA เป็น 10 บิต และเมื่อศึกษาผลกระทบของค่าคงที่ขนาดของระดับขั้นพบว่า เมื่อค่าคงที่ขนาดของระดับขั้นมีค่ามาก คือ 2^{-2} ระบบจะไม่สามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง แต่เมื่อค่าคงที่ขนาดของระดับขั้นมีค่าน้อย ได้แก่ 2^{-10} และ 2^{-14} ระบบก็จะทำงานผิดพลาดด้วยเช่นกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเลือกค่าคงที่ขนาดของระดับขั้นให้เหมาะสมกับการใช้งาน โดยในการทดสอบนี้ได้เลือกใช้ค่า 2^{-6} ซึ่งเป็นค่าที่ทำให้ระบบทำงานได้เป็นอย่างดี

การทดสอบและจำลองการทำงานของระบบ ได้แบ่งออกเป็นการทดสอบและจำลองระบบที่ใช้วงจรเลื่อนเฟสในการปรับลำคลื่นเริ่มต้น กับการทดสอบและจำลองระบบที่ใช้การสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัลเป็นตัวเริ่มต้น โดยทำการเก็บสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศในสภาพการใช้งาน

จริงเป็นข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์ผ่านทางบอร์ด FPGA แล้วนำมาใช้เป็นอินพุตสำหรับจำลองการทำงาน
ทำงานของ CMA อีกทีหนึ่ง ผลที่ได้จากการจำลองระบบ CMA พบว่า ระบบทั้งสองสามารถทำงาน
ได้เป็นอย่างดี โดยคุณสมบัติต่างๆ ของระบบที่ใช้การสังเคราะห์ลatches ทางดิจิทัลนั้นใกล้เคียงกับ
ระบบที่ใช้วงจรเลื่อนเฟสในการปรับลatches เริ่มต้น ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า ระบบสังเคราะห์ลatches
ทางดิจิทัลสามารถนำมาใช้งานเป็นตัวเริ่มต้นให้กับ CMA ทดแทนการใช้วงจรเลื่อนเฟสได้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

เนื่องจากความต้องการใช้งานการสื่อสารไร้สายเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมากในปัจจุบัน ดังนั้น ความจุของช่องสัญญาณรวมไปถึงปริมาณการจราจรบนโครงข่ายไร้สายก็ยังมีความต้องการมากขึ้นตามไปด้วย ปัญหาที่สำคัญอย่างหนึ่งที่จะเกิดขึ้นก็คือ ปัญหาของสัญญาณแทรกสอด ซึ่งจะทำให้คุณภาพในการสื่อสารไร้สายลดต่ำลง วิธีหนึ่งที่เป็นที่นิยมในการแก้ไขปัญหาคือ การใช้สายอากาศปรับตัว โดยหลักการของสายอากาศปรับตัวนั้นจะทำการคุมค่าถ่วงน้ำหนักค่าหนึ่งกับสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศ ค่าถ่วงน้ำหนักนั้นหาได้จากอัลกอริทึมการปรับตัวที่เฉพาะเจาะจง ซึ่งจะทำให้ระบบสายอากาศแฉวลำดับปรับตัวสามารถปรับลำคลื่นให้มีทิศทางของลำคลื่นหลักชี้ไปยังทิศทางของสัญญาณพึงประสงค์ที่ต้องการ และปรับนำลให้อยู่ในทิศทางของสัญญาณแทรกสอดได้

อัลกอริทึมการปรับตัวมีอยู่หลายอัลกอริทึม แต่อัลกอริทึมที่ในวิทยานิพนธ์นี้สนใจและนำมาใช้คือ อัลกอริทึม Constant Modulus Algorithm (CMA) ซึ่งมีข้อดีคือ เป็นอัลกอริทึมที่ไม่จำเป็นต้องรู้ข้อมูลของสัญญาณส่ง (*priori knowledge*) ใดๆก็ตาม อัลกอริทึม CMA นี้มีข้อเสียที่สำคัญคือ การลู่เข้าที่ค่อนข้างช้า ซึ่งได้มีการนำเสนอวิธีการปรับปรุงให้สามารถลู่เข้าได้เร็วขึ้นอยู่หลายวิธี โดยคุณสมบัติการลู่เข้าของอัลกอริทึม CMA นี้จะขึ้นอยู่กับค่าเริ่มต้นเป็นสำคัญ [19]

ในงานวิจัยที่มีมาก่อนหน้านั้น Boonpoonga และคณะ ได้นำเสนอการใช้สายอากาศแฉวลำดับปรับลำคลื่นเข้ามาช่วยในการปรับลำคลื่นเริ่มต้นให้กับ CMA ซึ่งทำให้ CMA สามารถลู่เข้าได้เร็วยิ่งขึ้น [21] แต่เนื่องจากการที่ระบบดังกล่าวใช้วงจรเลื่อนเฟสในการปรับลำคลื่น ทำให้ระบบมีความซับซ้อนและไม่กะทัดรัด ดังนั้น ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนอวิธีการสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัลเพื่อนำมาใช้ในการปรับลำคลื่นแทนการใช้วงจรเลื่อนเฟส และจะนำไปใช้เป็นตัวเริ่มต้นให้กับสายอากาศแฉวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA ต่อไป

ในบทที่ 3 นั้นได้นำเสนอวิธีการสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัล ซึ่งใช้วิธีการคุมค่าถ่วงน้ำหนักเข้ากับสัญญาณรับของสายอากาศ เพื่อปรับทิศทางของลำคลื่นหลักให้มีทิศทางตามที่ต้องการ โดยสามารถคำนวณหาค่าถ่วงน้ำหนักได้ดังสมการ (2.9) ซึ่งจากผลการจำลองนั้นแสดงให้เห็นว่า แบบรูปการแผ่พลังงานที่ได้จากการสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัลนั้น เหมือนกับแบบรูปการแผ่พลังงานที่ได้จากการปรับลำคลื่นด้วยวงจรเลื่อนเฟส จากนั้น ได้จำลองระบบโดยการเปรียบเทียบระบบที่ใช้การปรับลำคลื่นเริ่มต้นและไม่ใช้การปรับลำคลื่นเริ่มต้น พบว่า ระบบที่ใช้การปรับลำคลื่นเริ่มต้นจะมีการลู่เข้าที่เร็วกว่า โดยในการจำลองนั้น พบว่า เมื่อทิศทางของลำคลื่นหลักอยู่ใกล้กับทิศทางของ

มุมมองกระทบของสัญญาณพียงประสงค์ จะทำให้ระบบมีการลู่อเข้าที่เร็วขึ้น ในทางกลับกัน หากทิศทางของลำคลื่นหลักอยู่ใกล้กับทิศทางของมุมมองกระทบของสัญญาณแทรกสอด จะทำให้ระบบรับสัญญาณผิดพลาด โดยจะรับสัญญาณแทรกสอดแทน และเมื่อนำระบบสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัลมาใช้ในการปรับลำคลื่นเริ่มต้นให้กับ CMA พบว่า ระบบมีคุณสมบัติการลู่อเข้าเช่นเดียวกับการใช้วงจรเลื่อนเฟส ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า ระบบสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัล สามารถทำงานทดแทนการใช้วงจรเลื่อนเฟสได้

ในบทที่ 4 ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้งานสายอากาศแถวลำดับปรับลำคลื่นด้วยอัลกอริทึม CMA โดยใช้การสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัลเป็นตัวเริ่มต้น เพื่อรองรับการใช้งานสำหรับหลายผู้ใช้งาน โดยได้นำสายอากาศแถวลำดับปรับลำคลื่นด้วยอัลกอริทึม CMA โดยใช้การสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัลเป็นตัวเริ่มต้นหลายภาค (stage) มาต่อกันแบบขนาน โดยในแต่ละภาคจะทำการรับสัญญาณพียงประสงค์แต่ละผู้ใช้งาน จากผลการจำลองที่ได้พบว่า สายอากาศแถวลำดับปรับลำคลื่นด้วยอัลกอริทึม CMA สำหรับหลายผู้ใช้งานแบบขนานนั้น เมื่อไม่มีการปรับค่าเริ่มต้นที่แตกต่างกันให้กับแต่ละภาค ระบบจะจับสัญญาณผู้ใช้งานเดียวกัน แต่เมื่อกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับแต่ละภาคที่ไม่เท่ากัน ระบบสามารถแยกรับสัญญาณจากผู้ใช้งานหลายผู้ใช้งานได้ และในการสังเคราะห์ลำคลื่นเริ่มต้นให้กับ CMA ในแต่ละภาค สามารถกำหนดให้ CMA ในแต่ละภาคเลือกรับสัญญาณผู้ใช้งานที่ต้องการได้ โดยการปรับลำคลื่นเริ่มต้นไปในทิศทางของผู้ใช้งานแต่ละผู้ใช้งานตามต้องการ

ในบทที่ 5 ได้นำเสนอการสร้างและทดสอบระบบที่ได้นำเสนอไว้แล้ว โดยในบทนี้นั้น ได้กล่าวถึงความแตกต่างของการแสดงผลตัวเลขแบบจุดลอยตัวกับการแสดงผลตัวเลขแบบจุดตรึง ซึ่งหน่วยประมวลผลทั่วไปนั้น มักจะรองรับการทำงานแบบจุดตรึงมากกว่า ดังนั้นในการสร้างระบบนี้จึงต้องใช้การแสดงผลตัวเลขแบบจุดตรึงในการคำนวณและประมวลผล และเพื่อลดทรัพยากรในการสร้างโดยคงประสิทธิภาพในการทำงานของระบบอยู่ จึงต้องทำการหาค่าความยาวค่าต่างๆ ที่เหมาะสม จากการจำลอง พบว่า ค่าความยาวค่าของค่าถ่วงน้ำหนักในการสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัล ที่เหมาะสมคือ 8 บิต เนื่องจาก เป็นค่าความยาวค่าที่น้อยที่สุดที่ให้ผลการสังเคราะห์ลำคลื่นที่เหมือนกับการใช้ค่าถ่วงน้ำหนักแบบจุดลอยตัว เมื่อพิจารณาค่าถ่วงน้ำหนักของอัลกอริทึม CMA พบว่า ค่าถ่วงน้ำหนักที่ 10 บิต สามารถทำให้ระบบมีอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่มีค่ามากกว่า 20 dB ตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ได้ และจากการศึกษาผลกระทบของค่าคงที่ขนาดของระดับขั้น (step-size) ที่มีต่อระบบ พบว่า ค่าคงที่ขนาดของระดับขั้น (step-size) ที่ 2^{-6} จะทำให้ระบบที่มีพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้กำหนดไว้ สามารถทำงานได้เป็นอย่างดี และเมื่อทำการทดสอบการทำงานของระบบโดยเปรียบเทียบการทำงานของระบบที่ใช้วงจรเลื่อนเฟสเป็นตัวปรับลำคลื่นเริ่มต้น เทียบกับระบบที่ใช้การสังเคราะห์ลำคลื่นทางดิจิทัลเป็นตัวเริ่มต้น จากผลการทดสอบที่ได้พบว่า ระบบทั้งสองสามารถทำงานได้เป็นอย่างดี และระบบที่ใช้การสังเคราะห์ลำคลื่น

ทางดิจิทัลเป็นตัวเริ่มต้นมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับระบบที่ใช้วงจรเลื่อนเฟส ดังนั้น จึงสามารถนำระบบสังเคราะห์ลำดับคลื่นทางดิจิทัลมาใช้เป็นตัวเริ่มต้นให้กับระบบ CMA ทดแทนการใช้วงจรเลื่อนเฟสได้เป็นอย่างดี

จากผลการจำลองระบบที่ได้ แสดงให้เห็นว่า การทำงานของระบบสังเคราะห์ลำดับคลื่นทางดิจิทัลสามารถใช้งานในการปรับลำดับคลื่นของสายอากาศทดแทนการใช้งานวงจรเลื่อนเฟสได้เป็นอย่างดี และจากผลการจำลองรวมทั้งผลการทดสอบระบบที่ได้ พบว่า การใช้งานระบบสังเคราะห์ลำดับคลื่นทางดิจิทัลในการปรับลำดับคลื่นเริ่มต้นให้กับระบบสายอากาศแกลวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA นั้นมีคุณสมบัติและประสิทธิภาพที่ไม่แตกต่างจากระบบที่ใช้วงจรเลื่อนเฟสในการปรับลำดับคลื่นเริ่มต้น และสามารถปรับปรุงคุณสมบัติการลู่เข้าของระบบให้เร็วขึ้นกว่าระบบที่ไม่ใช้การปรับลำดับคลื่นได้

6.2 แนวทางปรับปรุงงานวิจัย

เนื่องจากระบบสายอากาศแกลวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA โดยใช้ระบบสังเคราะห์ลำดับคลื่นทางดิจิทัลเป็นตัวเริ่มต้นมีการใช้งานหน่วยประมวลผลสองหน่วยด้วยกัน ได้แก่ หน่วยประมวลผลสำหรับระบบสังเคราะห์ลำดับคลื่นทางดิจิทัล และหน่วยประมวลผลสำหรับการปรับตัว CMA ซึ่งทำให้สิ้นเปลืองทรัพยากร แนวทางในการปรับปรุงระบบเพื่อประหยัดทรัพยากรสามารถทำได้โดยรวมหน่วยประมวลผลทั้งสองเข้าด้วยกัน เหลือเพียงหน่วยประมวลผลเดียว

เมื่อวิเคราะห์การทำงานของสายอากาศแกลวลำดับปรับตัวด้วยอัลกอริทึม CMA โดยใช้ระบบสังเคราะห์ลำดับคลื่นทางดิจิทัลเป็นตัวเริ่มต้นในรูปที่ 3.9 พบว่า ระบบสังเคราะห์ลำดับคลื่นทางดิจิทัลจะประมวลผลแล้วปรับลำดับคลื่นเริ่มต้นของสายอากาศให้มีทิศทางที่สามารถรับสัญญาณได้แรงที่สุด จากนั้นระบบจะหยุดการประมวลผล โดยระบบ CMA จะประมวลผลเพื่อให้ได้สัญญาณเอาต์พุตต่อไป ดังนั้นจึงสามารถรวมหน่วยประมวลผลทั้งสองหน่วยเข้าเป็นหน่วยประมวลผลเดียว โดยระบบสังเคราะห์ลำดับคลื่นทางดิจิทัลประมวลผลก่อน เมื่อประมวลผลเสร็จเรียบร้อยแล้ว ก็จะใช้หน่วยประมวลผลเดียวกันนี้ในการประมวลผล CMA ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] C.A. Balanis, **Antenna Theory: Analysis and Design**, 3rd Edition, John Wiley & Sons, 2005.
- [2] S. Haykin (Eds.), **Unsupervised Adaptive Filtering**, John Willey & Sons, NY, 2000.
- [3] I.C. Liberti, Jr. and T.S. Rappaport, “**Smart Antennas for Wireless Communications: IS-95 and Third Generation CDMA Applications**,” New Jersey, Prentice-Hall, 1999.
- [4] D.N. Godard, “Self-recovering equalization and carrier tracking in two-dimensional data communication systems,” **IEEE Transactions on Communications**, Vol. COM-28(11), pp. 1867-1875, Nov. 1980.
- [5] J.R. Treichler and B.G. Agee, “A New Approach to Multipath Correction of Constant Modulus Signals,” **IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing**, Vol. ASSP-31, no.2, pp. 459-472, Apr. 1983.
- [6] M. Larimore and J.R. Treichler, “Convergence behavior of the constant modulus algorithm,” **IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP '83)**, Vol.8, pp. 13-16, Apr. 1983.
- [7] R. Gooch and J. Lundell, “The CM array: An adaptive beamformer for constant modulus signals,” **IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP '86)**, Vol.11, pp. 2523-2526, Apr. 1986.
- [8] H.H. Zeng, L. Tong and C.R., Jr. Johnson, “Relationships between the constant modulus and Wiener receivers,” **IEEE Transactions on Information Theory**, Vol.44, no.4, pp.1523-1538, Jul. 1998.
- [9] D. Liu and L. Tong, “An Analysis of Constant Modulus Algorithm for Array Signal Processing,” **Signal Processing**, Vol. 73, pp. 81-104, 1999.
- [10] H.H. Zeng, L. Tong and C.R., Jr. Johnson, “An analysis of constant modulus receivers,” **IEEE Transactions on Signal Processing**, vol.47, no.11, pp.2990-2999, Nov. 1999.
- [11] T. Ohgane, T. Shimura, N. Matsuzawa and H. Sasaoka, “An Implementation of a CMA Adaptive Array for High Speed GMSK Transmission in Mobile Communications,” **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, Vol.42, no.3, pp. 282-288, Aug. 1993.
- [12] T. Ohgane, N. Matsuzawa, T. Shimura, M. Mizuno and H. Sasaoka, “BER Performance of CMA Adaptive Array for High Speed GMSK Mobile Communications – A Description

- of Measurements in Central Tokyo,” **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, Vol.42, no.4, pp. 484-490, Nov. 1993.
- [13] I. Chiba, R. Miura, T. Tanaka and Y. Karasawa, “Digital beam forming (DBF) antenna system for mobile communications ,” **IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine**, Vol.12, no.9, pp.31-41, Sep. 1997.
- [14] H. Furukawa, Y. Kamio, and H. Sasaoka, “Co-channel interference canceller using CMA adaptive array antenna,” **Electronics Letters**, vol. 33, no. 13, pp.1106-1108, June 1997.
- [15] H. Furukawa, Y. Kamio and H. Sasaoka, “Cochannel interference reduction and path-diversity reception technique using CMA adaptive array antenna in digital land mobile communications,” **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, Vol.50, no.2, pp.605-616, Mar. 2001.
- [16] S. Denno and T. Ohira, “Modified constant modulus algorithm for digital signal processing adaptive antennas with microwave analog beamforming,” **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, Vol.50, no.6, pp.850-857, June 2002.
- [17] A. Mathur, A.V. Keerthi and J.J. Shynk, “A variable step-size CM array algorithm for fast fading channels ,” **IEEE Transactions on Signal Processing**, Vol.45, no.4, pp.1083-1087, Apr. 1997.
- [18] N. Kikuma, K. Takao, “Effect of Initial Values of Adaptive Arrays,” **IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems**, Vol.AES-22, no.6, pp.688-694, Nov. 1986.
- [19] K. Takao and H. Matsuda, “The Choice of Initial Condition of CMA Adaptive Arrays,” **IEICE Transactions on Communications**, Vol. E78-B, no. 11, pp. 1474-1478, Nov. 1995.
- [20] R. Yonezawa and I. Chiba, “A Combination of Two Adaptive Algorithms SMI and CMA,” **IEICE Transactions on Communications**, Vol. E84-B, no.7, pp. 1768-1773, July 2001.
- [21] A. Boonpoonga, P. Sirisuk, M. Chongcheawchamnan, S. Patisang and M. Krairiksh, “Hardware-Assisted Initialization for CMA Adaptive Antenna,” **IET Microwave, Antenna and Propagation**, vol. 2, no.4, pp. 303-311, 2008.
- [22] C.A. Olen and R.T. Compton, “A Numerical Pattern Synthesis Algorithm for Arrays,” **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, Vol. 38, no. 10, pp. 1666-1676, 1999.

- [23] M. Krairiksh, P. Ngamjanyaporn and C. Kessuwan, "A Flat Four-Beam Compact Phased Array Antenna," **IEEE Microwave and Wireless Components Letter**, Vol.12, no.5, pp. 184-186, May 2002.
- [24] A. Boonpoonga, P. Sirisuk and M. Krairiksh, "A Switched-beam Element Phased Array Antenna for CMA Initialization," **Proc. Of the 36th European Microwave Conference (EuMC)**, Manchester, pp. 772-775, Sep. 2006.
- [25] P. Ngamjanyaporn, C. Phongcharoenpanich, P. Akkaraekthalin and M. Krairiksh, "Signal-to-interference ratio improvement by using a phased array antenna of switched-beam elements," **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, , Vol.53, no.5, pp. 1819-1828, May 2005.
- [26] P. Ngamjanyaporn and M. Krairiksh, "Switched-beam Single Patch Antenna," **Electronic Letters**, Vol.38, no.1, pp. 7-8, Jan. 2002.
- [27] T. Tantisopharak, A. Boonpoonga, P. Sirisuk and M. Krairiksh, "Simple initialization scheme for CMA adaptive antenna by using digital beam synthesis," **5th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, 2008. (ECTI-CON 2008)**, Vol.1, pp.289-292, May 2008.
- [28] A. Mathur, A.V. Keerthi and J.J. Shynk, "Steady-state analysis of the multistage constant modulus array," **IEEE Transactions on Signal Processing**, Vol.44, no.4, pp.948-962, Apr. 1996.
- [29] J.J. Shynk and R.P. Gooch, "Performance analysis of the multistage CMA adaptive beamformer," **IEEE Military Communications Conference, 1994. (MILCOM '94)**, Vol.2, pp.316-320, Oct. 1994.
- [30] J.J. Shynk and R.P. Gooch, "Convergence properties of the multistage CMA adaptive beamformer ," **1993 Conference Record of The Twenty-Seventh Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers.**, Vol.1, pp.622-626, Nov. 1993.
- [31] J.J. Shynk and R.P. Gooch, "The constant modulus array for cochannel signal copy and direction finding," **IEEE Transactions on Signal Processing**, Vol.44, no.3, pp.652-660, Mar. 1996.

- [32] A.V. Keerthi, A. Mathur and J.J. Shynk, "Direction-finding performance of the multistage CM array," **Conference Record of the Twenty-Eighth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, 1994**, Vol.2, pp.847-852, 31 Oct-2 Nov. 1994.
- [33] A. Mathur, A.V. Keerthi and J.J. Shynk, "Steady-State Analysis of the Multistage CM Array for Correlated Signals," **1995 Conference Record of the Twenty-Ninth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers.**, Vol. 1, pp. 711-716, 1995.
- [34] A. Mathur, A.V. Keerthi and J.J. Shynk, "Cochannel signal recovery using the MUSIC algorithm and the constant modulus array," **IEEE Signal Processing Letters**, Vol.2, no.10, pp.191-194, Oct. 1995.
- [35] A. Mathur, A.V. Keerthi, J.J. Shynk and R. P. Gooch, "Convergence Properties of the Multistage Constant Modulus Array for Correlated Sources," **IEEE Transactions on Signal Processing**, Vol. 45, no. 1, pp. 280-286, Jan. 1997.
- [36] A. Mathur, A.V. Keerthi and J.J. Shynk, "Estimation of Correlated Cochannel Signals Using the Constant Modulus Array," **IEEE International Conference on Communications. (ICC 95)**, Vol. 3, pp. 1525-1529, June 1995.
- [37] A.V. Keerthi, A. Mathur, J.J. Shynk and R.P. Gooch, "A blind adaptive antenna system for the estimation of mutually correlated cochannel sources," **1995 IEEE Military Communications Conference. (MILCOM '95)**, Vol.3, pp.1051-1055, Nov. 1995.
- [38] V. Venkataraman and J.J. Shynk, "A Multistage Hybrid Constant Modulus Array With Constrained Adaptation for Correlated Sources," **IEEE Transactions on Signal Processing**, Vol.55, no.6, pp.2509-2519, June 2007.
- [39] A. Boonpoonga, T. Tantisopharak, P. Sirisuk and M. Krairiksh, "Parallel Multistage CM Array with Constained Initialization of Digital Beam Synthesis," **The 2008 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC2008)**, Hong Kong, Dec. 2008.
- [40] A. Boonpoonga, T. Tantisopharak, P. Sirisuk and M. Krairiksh, "Wordlength effect on CMA adaptive antenna with digital beam synthesis initialization," **8th International Conference on ITS Telecommunications, 2008. (ITST 2008).** , pp.41-44, Oct. 2008.
- [41] D.A. Patterson and J.L. Hennessy, **Computer Organization & Design the Hardware/Software Interface**, Morgan Kaufmann 2's edition, 1997.

[42] National Instruments., "Comparing Floating-Point and Fixed-Point Implementations on ADI Blackfin Processors with LabVIEW," [Online]. Available :
<http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/3115>

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. T. Tantisoparak, A. Boonpoonga, P. Sirisuk and M. Krairiksh, "Simple initialization scheme for CMA adaptive antenna by using digital beam synthesis," **5th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, 2008. (ECTI-CON 2008)**, Vol.1, pp.289-292, May 2008.



ECTI-CON 2008
 THE 2008 ECTI INTERNATIONAL CONFERENCE

Volume 1

Proceedings of the 2008 Electrical Engineering/ Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI) International Conference

May 14-17, 2008
 Maritime Park and Spa Resort, Krabi, THAILAND



Simple Initialization Scheme for CMA Adaptive Antenna by Using Digital Beam Synthesis

Tanawat Tantisoparak¹, Akkarat Boonpoonga¹, Phaophak Sirisuk² and Monai Krairiksh¹

¹Faculty of Engineering and Research Center for Communications and Information Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand
Tel: 66-2-7373000 Ext. 3327, Fax: 66-2-7392429

²Department of Computer Engineering, Mahanakorn University of Technology, Nongchok, Bangkok 10530, Thailand

E-mail: s8060960@kmitl.ac.th, s7060003@kmitl.ac.th, phaophak@mut.ac.th, kkmonai@kmitl.ac.th

Abstract— This paper presents a simple technique of initialization for CMA adaptive antenna. The technique utilizes digital beam synthesis for a circular array antenna to synthesize the beams in digital domain. The synthesized beam can be switched into different directions by choosing proper weight vectors. The weight vectors are calculated through a phased array principle. The beams obtained from the synthesis are employed to initial CMA in order to improve its convergence property. The technique makes the compact adaptive antenna using CMA possible. Simulation results show that the proposed technique can significantly improve the convergence property of CMA.

Index terms—CMA, adaptive antenna, digital beam synthesis

I. INTRODUCTION

With the advantage of increasing the capacity, an adaptive antenna plays an important role in a future wireless communication system. One of the fundamental problems in adaptive array processing is requiring a training sequence. Recently, a constant modulus algorithm (CMA) which can be used to eliminate interference in an adaptive antenna system was proposed [1]. Consequently, it has been received considerable interest because of its distinct advantage of not requiring the training sequence. It employed only *a priori* knowledge of the constant envelope about the transmitted signal waveform, which is often the case in a real communication environment.

Despite its advantage, CMA has an inherent drawback of the slow convergence property. Several attempts have been made to overcome the drawback. In [2], a solution to resolve the convergence problem was introduced using a combination of CMA and a sample matrix inversion (SMI) algorithm. Essentially, the proposed technique utilizes a solution of the SMI as initialization for CMA. Nevertheless, there are two shortcomings in this approach. Firstly, inversion in SMI implies high computational burden of the algorithm. Secondly, SMI requires the training sequence. Thus, the algorithm is not purely blind.

More recently, hardware-assisted initialization for a CMA adaptive array antenna was proposed to improve the convergence property of CMA. Additional associated circuitry

i.e. one-bit phase shifters and a power detector are utilized to initially switch the main beam of an antenna to various directions. The main beam with maximum received power is employed as an initial beam for CMA. This approach can significantly improve the convergence property of CMA without a need of high computational burden. Although this technique utilizes only the simple hardware circuitry, it expands the added size and cost for beam-switching.

Another means to achieve beam-switching is digital beam synthesis. In [3], the numerical technique for pattern synthesis in arrays was proposed. This approach based on an adaptive array theory computes a set of weights which are used to steer a beam of the antenna in the desired direction and yield specified sidelobes according to the criterion.

In this paper, we propose a technique to improve the convergence property without a need of additional RF devices. The technique restores to digital beam synthesis which can be normally implemented on a digital signal processor (DSP) or a field programmable gate array (FPGA) device to synthesize beams. The synthesized beam can be switched into different directions by choosing proper weight vectors. Consequently, the beam with maximum received power measured by a digital power detector is exploited as an initial beam for CMA.

After introduction, the CMA adaptive antenna using digital beam synthesis is presented in Section II in which some initial beams achieved by digital beam synthesis are illustrated. Simulations are conducted to validate the performance of the proposed system in Section III. Finally, the conclusions are drawn in Section IV.

II. THE PROPOSED CMA ADAPTIVE ANTENNA USING DIGITAL BEAM SYNTHESIS

A. Proposed System

Fig. 1 depicts the basic architecture of the proposed CMA adaptive array antenna using digital beam synthesis. The four-element circular array antenna is used in the system. Following the derivation in [4], the array radius a is selected to be 0.375λ to obtain the desirable characteristic.

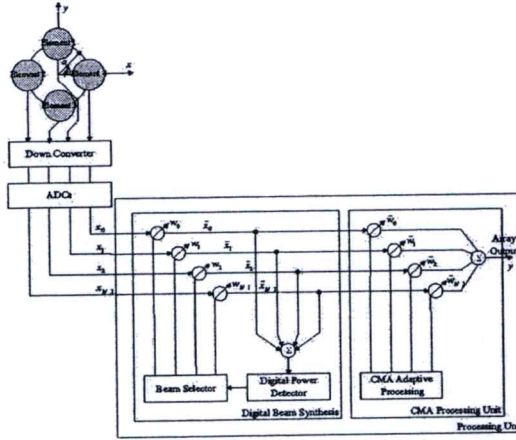


Fig.1 Basic architecture of CMA adaptive antenna using digital beam synthesis.

The operating frequency is 1.95 GHz suitable for operation in IMT2000 system.

The complex signals received by n^{th} antenna element and then down converted are digitized by analog-to-digital converters (ADCs). The received signals can be defined as

$$\mathbf{x}(k) = \mathbf{A}\mathbf{s}(k) + \boldsymbol{\eta}(k) \quad (1)$$

where $\mathbf{s}(k)$ and $\boldsymbol{\eta}(k)$ are the transmitted signal and additive noise vectors, respectively. The matrix \mathbf{A} denotes an array response. We may write the received signal vector and the array response based on a circular array principle as

$$\mathbf{x}(k) = [x_0(k) \ x_1(k) \ \dots \ x_{N-1}(k)]^T \quad (2)$$

and

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} e^{jkr \sin \theta \cos(\phi - \phi_0)} \\ e^{jkr \sin \theta \cos(\phi - \phi_1)} \\ \vdots \\ e^{jkr \sin \theta \cos(\phi - \phi_{N-1})} \end{bmatrix} \quad (3)$$

, respectively. Here T and k denotes a vector transpose and propagation constant, respectively. The output from each ADC is then multiplied by a weight to synthesize beams. Taking into account the weight-multiplication, the effective input of the CMA antenna system $\tilde{\mathbf{x}}(k)$ can be expressed as

$$\tilde{\mathbf{x}}(k) = \mathbf{w}\mathbf{x}(k) \quad (4)$$

where the weight-multiplication

$$\mathbf{w}_i(k) = e^{j\alpha_i}, \quad i = 0, \dots, N-1 \quad (5)$$

Here, α is a progressive phase between each element, which can be obtained from [5]

$$\alpha_n = -k \sin \theta_0 \cos(\phi_0 - \phi_n) \quad (6)$$

where θ_0 and ϕ_0 are the main beam directions in elevation and azimuthal plane, respectively. ϕ_n is the angular position of n^{th} element on x - y plane

Collecting the effective input $\tilde{\mathbf{x}}(k)$, we may write

$$\tilde{\mathbf{x}}(k) = [\tilde{x}_0(k) \ \tilde{x}_1(k) \ \dots \ \tilde{x}_{N-1}(k)]^T \quad (7)$$

The complex signal effective input $\tilde{x}_i(k)$ is then multiplied by an adjustable complex weight $\tilde{w}_i(k)$. Therefore, using matrix-vector notation the adaptive array output is written as:

$$y(k) = \tilde{\mathbf{w}}(k)^H \tilde{\mathbf{x}}(k) \quad (8)$$

where

$$\tilde{\mathbf{w}}(k) = [\tilde{w}_0(k) \ \tilde{w}_1(k) \ \dots \ \tilde{w}_{N-1}(k)]^T \quad (9)$$

where H is the vector conjugate transpose. The CMA adjusts the weight vector $\tilde{\mathbf{w}}(k)$ in a way that the cost function J_{pq} defined as

$$J_{pq} = E[(|y(k)|^p - \sigma^p)^q] \quad (10)$$

is minimized. Note that p and q are positive integer [1] and σ is the amplitude of the array output in the absence of interference. For simplicity, p and q are chosen to be two. The steepest descent algorithm is used as an iterative minimization of the cost function J_{pq} . That is

$$\tilde{\mathbf{w}}(k+1) = \tilde{\mathbf{w}}(k) - \mu \nabla J_{pq}(k) \quad (11)$$

where μ is a small step size governing convergence rate and ∇J_{pq} is an unbiased estimate of the gradient of the cost function with respect to $\tilde{\mathbf{w}}(k)$. In practice, instantaneous estimates of the gradient are employed for adaptation. With $p = q = 2$, it is easily verified that

$$\tilde{\mathbf{w}}(k+1) = \tilde{\mathbf{w}}(k) - 4\mu \tilde{\mathbf{x}}(k) y^*(k) (|y(k)|^2 - \sigma^2) \quad (12)$$

Reconsidering fig.1, a main beam of the antenna is switched into different directions by choosing weight vectors according to (6). During switching the main beam, the received signals from each antenna element are combined together and then measured by a digital power detector. The beam with maximum received power is selected and then exploited as an initial beam for CMA.

Note that phase-multiplication similar to phase-excitation in a phased array principle is performed in a processing unit

rather than in RF-front-end part compared to existing system in [6].

B. Initial-beam Synthesis

So far, several beams of the proposed antenna using digital beam synthesis are determined. To switch the main beam of the antenna, (6) is used. Sixteen beams are selected to cover the service area of 360° . The main beam of the antenna can be switched into sixteen directions i.e. $\phi_0 = 22.5^\circ, 45^\circ, 67.5^\circ, 90^\circ, 112.5^\circ, 135^\circ, 157.5^\circ, 180^\circ, 202.5^\circ, 225^\circ, 247.5^\circ, 270^\circ, 292.5^\circ, 315^\circ, 337.5^\circ,$ and 360° . Thus, sixteen weight vectors are required. By applying digital beam synthesis, 8-bit weights and 8-bit input and outputs are selected. In the aspect of implementation, choosing weight vectors to synthesize beams in each direction can be accomplished by multiplexers.

For example, fig. 2 illustrates the antenna patterns whose main beam directions being $\phi_0 = 22.5^\circ, 45^\circ, 67.5^\circ$ and 90° . The figures reveal that the radiation patterns of the antenna using RF phase shifters are almost identical to that of the antenna using digital beam synthesis with 8-bit weights. The beams of the antenna using digital beam synthesis will be exploited to initial CMA and its advantage will be shown in the next section.

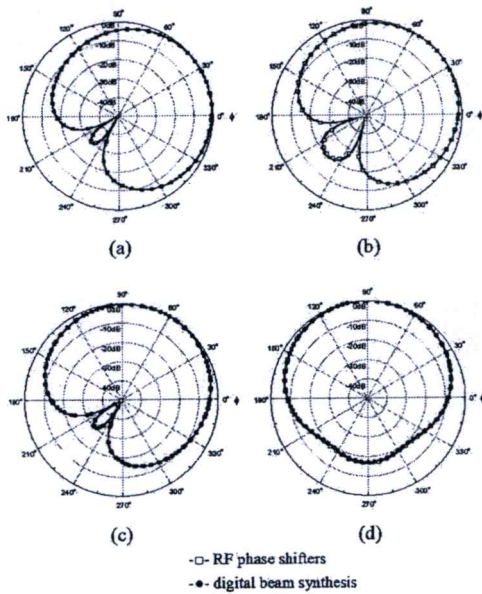


Fig. 2 Radiation patterns of the antenna using RF phase shifters and digital beam synthesis whereby their main beams directs to (a) 22.5° (b) 45° (c) 67.5° (d) 90° .

III. SIMULATION RESULTS

Simulations were conducted to evaluate performance of the proposed adaptive antenna. The desired and interference signals were $\pi/4$ -QPSK-modulated and propagated through an additive white Gaussian noise (AWGN) channel. In practical wireless environment, the received power of interference signal due to co-channel and multi-path fading is normally smaller than that of desired signal. Therefore, in our simulations the power of the desired signal was set to be 3 dB stronger than that of the interference. Our antenna system was described in the previous section. Signal to Noise Ratio (SNR) was 20 dB.

In the simulations, the incident angles of the desired and interference signals were 30° and 120° , respectively. It was assumed that a beam with maximum received power could be perfectly determined by using a digital power detector. Thus, the direction of an initial main beam was $\phi_0 = 45^\circ$ as shown in fig. 2 (b). This was achieved by choosing phase shift of four elements to be $-48, 48, 48,$ and -48 equivalent to $[0.6691 - i0.7431, 0.6681 + i0.7431, 0.6691 + i0.7431, 0.6691 - i0.7431]$ of the weight vector.

Fig. 3 shows the signal-to-interference plus noise ratio (SINR) trajectories of the CMA adaptive antenna. In the figure, the CMA adaptive antennas with digital beam synthesis and RF phase shifters converge after 500 iterations while the CMA adaptive antenna without beam-switching initialization converge after 700 iterations. Clearly, the SINR trajectory of the antenna with beam-switching initialization is faster than that of the antenna without beam-switching initialization. In addition, the figure also reveals that the SINR trajectories of the antenna using digital beam synthesis and RF phase shifters are almost identical. This implies that digital beam synthesis with weight-multiplication can be used instead of beam-switching with RF phase shifters to improve the convergence property of CMA [6]. The proposed adaptive antenna system can offer a compact solution.

Besides the convergence property, we must consider whether the adaptive antenna actually captures the desired (not interference). Let us consider the antenna patterns shown in fig. 3. The patterns are obtained from performing CMA after convergence. The nullities of all antenna patterns appear in the direction of interference (120°) as seen in the figure. The SINRs of the adaptive antenna with RF phase shifter and digital beam synthesis and without beam-switching initialization are 22.5, 23 and 25 dB, respectively. Moreover, it is noticed that the radiation patterns of the CMA adaptive antenna digital beam synthesis, RF phase shifters and without beam-switching initialization after convergence are different. This is attributed to different initial conditions for CMA.

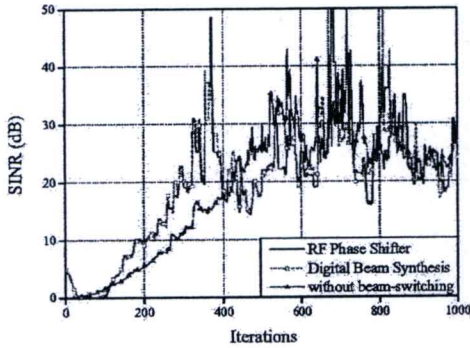


Fig.3 SINR trajectories of CMA adaptive antenna using RF phase shifters and using digital beam synthesis.

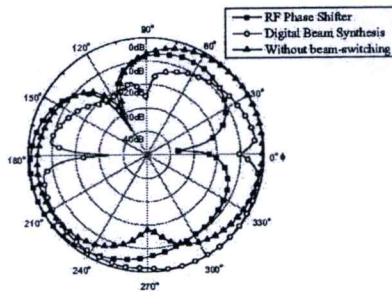


Fig.4 Antenna pattern obtained from performing CMA.

IV. CONCLUSION

In this paper, a simple technique which can improve convergence property of CMA has been presented. The technique utilizes digital beam synthesis instead of RF phase shifters used in [6] to synthesize beams. The beam obtained from digital beam synthesis is exploited to initial CMA. Sixteen possible initial beams are selected for covering the service area (360°). The radiation patterns of the antenna using digital beam synthesis are compared to that using RF phase shifters. This verifies that beam-switching in digital domain can be accomplished by digital beam synthesis. Moreover, the simulation results are also shown and validate the performance of the proposed technique.

REFERENCES

- [1] J.R. Treichler and B.G Agee, "A New Approach to Multipath Correction of Constant Modulus Signals," *IEEE Trans. Acoustics, Speech and Signal Processing*, Vol. ASSP-31, no.2, pp. 459-472, April 1983.
- [2] R. Yonezawa and I. Chiba, "A Combination of Two Adaptive Algorithms SMI and CMA," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E84-B, no.7, pp. 1768-1773, July 2001.
- [3] C.A. Olen and R.T. Compton, "A Numerical Pattern Synthesis Algorithm for Arrays," *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, Vol. 38, no.10, pp. 1666-1676, Oct. 1990.
- [4] P. Ngamjanyaporn, C. Phongcharoenpanich, P. Akkarakthalin and M. Krairiksh, "Signal-to-Interference Ratio Improvement by Using a Phased Array Antenna of Switched-beam Elements," *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, Vol. 53, no.5, pp. 1819-1828, May 2005.
- [5] C.A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, 3rd Edition, John Wiley & Sons, 2005.
- [6] A. Boonpoonga, P. Sirisuk, M. Chongcheawchamnan, S. Patisang, and M. Krairiksh, "Hardware-Assisted Initialization for CMA Adaptive Antenna," *IET Microwaves, Antennas and Propagation Trans.* (in Press).

ประวัติผู้เขียน

นายธนวุฒิ ตันติโสภารักษ์ เกิดเมื่อวันที่ 15 พฤศจิกายน พ.ศ.2526 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม จากภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2547 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2548 โดยในปี พ.ศ. 2551 ได้เข้าทำงานในตำแหน่งผู้ช่วยนักวิจัย ประจำห้องปฏิบัติการการสื่อสารไร้สาย (Wireless Communication Lab.) สำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ (ReCCIT) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. T. Tantisopharak, A. Boonpoonga, P. Sirisuk and M. Krairiksh, "Simple initialization scheme for CMA adaptive antenna by using digital beam synthesis," **5th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, 2008. (ECTI-CON 2008)**, Vol.1, pp.289-292, May 2008.
2. A. Boonpoonga, T. Tantisopharak, P. Sirisuk and M. Krairiksh, "Wordlength effect on CMA adaptive antenna with digital beam synthesis initialization," **8th International Conference on ITS Telecommunications, 2008. (ITST 2008)**, pp.41-44, Oct. 2008.
3. A. Boonpoonga, T. Tantisopharak, P. Sirisuk and M. Krairiksh, "Parallel Multistage CM Array with Constained Initialization of Digital Beam Synthesis," **The 2008 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC2008)**, Hong Kong, Dec. 2008.