



รายงานการวิจัย

วิธีการปรับแต่งสำหรับแผนการถ่วงน้ำหนักของตัวก่อรูปลำคลื่นแบบ
หลายลำคลื่นในแถบความถี่กว้าง

**Refinement Method for Weighting Scheme of Multi-beam Former
in Wide Frequency Band**

ชยานิชฐ์ บุญสนิท

Chayanit Bunsanit

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

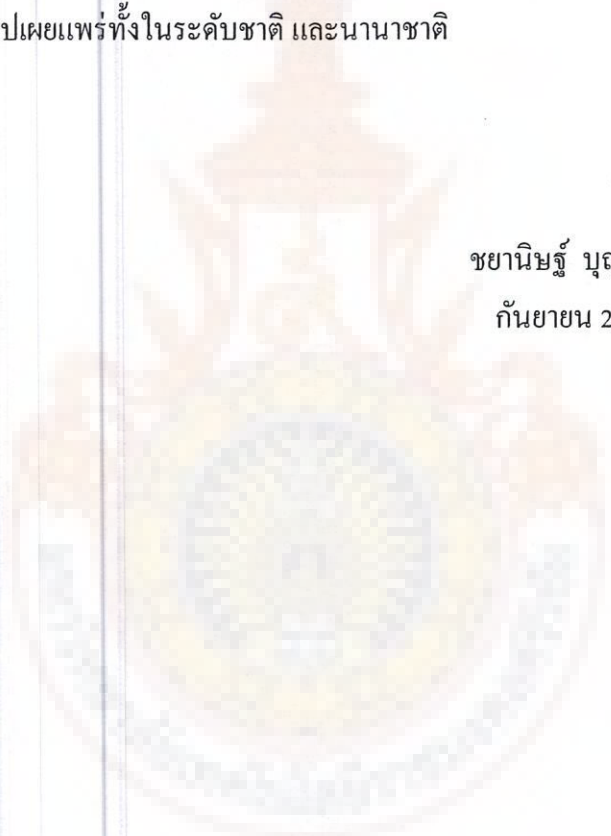
งบประมาณเงินรายได้ประจำปี พ.ศ. 2557

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยในครั้งนี้สำหรับถูกลงไปด้วยดี โดยต้องขอบขอบคุณผู้ที่มีส่วนผลักดันให้ งานวิจัยนี้เกิดขึ้น คือ คณะวิศวกรรมศาสตร์ และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย โดยทุนที่ได้รับเป็นทุนนักวิจัยหน้าใหม่ งบประมาณรายได้ ประจำปี 2557 เพื่อ ส่งเสริมให้อาจารย์รุ่นใหม่ได้จัดทำงานวิจัยอย่างต่อเนื่องในสถาบันการศึกษา และขอขอบคุณใน ส่วนของเจ้าหน้าที่ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลศรีวิชัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ทำให้งานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จถูกลงไปด้วยดี และสามารถนำ ผลงานที่ได้จากการวิจัยนี้ไปเผยแพร่ทั้งในระดับชาติ และนานาชาติ

ชยานิษฐ์ บุญสนิท

กันยายน 2558



วิธีการปรับแต่งสำหรับแผนการถ่วงน้ำหนักของตัวก่อรูปลำคลื่นแบบหลายลำคลื่นใน แถบความถี่กว้าง

ชยานิชฐ์ บุญสนิท

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับระบบสายอากาศเก่ง ที่ใช้ในแถบความถี่กว้าง และสามารถก่อรูปลำคลื่นได้ 2 ลำคลื่นในเวลาเดียวกัน ระบบสายอากาศเก่งที่งานที่ย่านความถี่ 1.9-2.5 GHz ประกอบด้วยส่วนของสายอากาศแถวลำดับเชิงระนาบ และส่วนของการประมวลผลสัญญาณ ซึ่งใช้อัลกอริทึม IDFT ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก วิธีนี้เรียกว่า วิธีการประมวลผลเชิงตำแหน่งเพียงอย่างเดียว หรือ Only Spatial Signal Processing ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากวิธีนี้เราพบว่า มีช่วงของค่าถ่วงน้ำหนักที่ค่อนข้างกว้าง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีการปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก ที่ได้จากวิธี IDFT เพื่อให้ช่วงของการถ่วงน้ำหนักมีค่าช่วงที่แคบลง โดยยังคงคุณสมบัติของแบบรูปการแผ่พลังงานไว้ เช่น ค่าการชี้มุม ค่าระดับของลำคลื่นรอง และค่าความกว้างของลำคลื่น โดยค่าต่างๆเหล่านี้มีการเบี่ยงเบนไปในเงื่อนไขที่เรากำหนด ซึ่งพบว่าวิธีการปรับแต่งสามารถลดช่วงการถ่วงน้ำหนักได้ผลดี

Refinement Method for Weighting Scheme of Multi-beam Former in Wide Frequency Band

Chayanit Bunsanit

Abstract

This paper presents refinement method to reduce the range between maximum and minimum value of weighting coefficients while maintaining some important characteristic of radiation pattern. The initial weighting coefficients are obtained from original beamformer algorithm employed in Only Spatial Signal Processing for Wideband smart antenna systems. The systems are designed to operate from 1.9 to 2.5 GHz and can produce two beams in the same time. Their simulation results are presented in MATLAB and show that the proposed refinement method can effectively reduce the dynamic range of weighting coefficients.

Keywords: Refinement, Wideband, Weighting Coefficient, Smart Antenna, Only Spatial Signal Processing.

คำนำ

รายงานวิจัยฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อรายงานผลการวิจัยในเรื่อง วิธีการปรับแต่งแผนการถ่วงน้ำหนักของตัวก่อรูปลาคลิ้นแบบหลายลาคลิ้นในแถบความถี่กว้าง

โดยมีเนื้อหาของรายงานดังต่อไปนี้ บทนำสู่การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีด้านระบบสายอากาศแก่งซึ่งจะเน้นเกี่ยวกับระบบสายอากาศแก่งที่ใช้งานกับสัญญาณที่มีแถบความถี่กว้าง ปรักษัณัวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง การวิเคราะห์และปรับแต่งแผนการถ่วงน้ำหนักของระบบ ผลการทดสอบการจำลอง โปรแกรม และปิดท้ายด้วยการสรุปงานทั้งหมดจากการวิจัยนี้

นางสาวชานิชฐ์ บุญสนิท

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ค
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ง
คำนำ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	3
1.4 กรอบแนวความคิดของการวิจัย.....	3
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล	4
1.6 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	4
1.7 ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย.....	4
1.8 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการวิจัยวิธีการดำเนินการวิจัย.....	5
2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 กล่าวนำ.....	6
2.2 ระบบสายอากาศแก่งโดยทั่วไป	7
2.3 ผลกระทบของแถบความถี่กับระบบสายอากาศแก่ง	12
2.4 ระบบสายอากาศแก่งที่ใช้งานกับสัญญาณที่มีแถบความถี่กว้าง	14
2.5 ระบบสายอากาศแก่งที่ทำงานในแถบความถี่กว้างกับการประมวลผลสัญญาณ เชิงตำแหน่งเพียงอย่างเดียว.....	17
2.6 การวิเคราะห์และปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักของตัวก่อรูปลำคลื่นเดี่ยว.....	32
2.5 กล่าวสรุป.....	37

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3 การวิเคราะห์และปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักของตัวก่อรูปลาคลิ้น แบบหลายลาคลิ้นในแถบความถี่กว้าง	38
3.1 กล่าวนำ.....	38
3.2 การปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก	38
4 การวิเคราะห์และปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก	43
4.1 กล่าวนำ.....	43
4.2 ผลการจำลองโปรแกรม	43
5 การออกแบบระบบสายอากาศเก่งตันแบบ	55
รายการอ้างอิง.....	57

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	โครงสร้างของระบบสายอากาศแก่ง	7
รูปที่ 2.2	โครงสร้างพื้นฐานของระบบสายอากาศแบบสวิตช์ลำคลื่น	8
รูปที่ 2.3	โครงสร้างของวงจรถ่ายการก่อรูปลำคลื่นแบบ Butler Matrix	9
รูปที่ 2.4	แบบรูปการแผ่พลังงานของทั้ง 4 ลำคลื่น ซึ่งสัมพันธ์กับตารางที่ 2.1	10
รูปที่ 2.5	โครงสร้างของสายอากาศแบบปรับตัว	12
รูปที่ 2.6	แบบรูปการแผ่พลังงานของระบบสายอากาศแก่งที่ใช้งานที่ความถี่แถบแคบที่ 10 MHz	13
รูปที่ 2.7	แบบรูปการแผ่พลังงานของระบบสายอากาศแก่งที่ใช้งานที่ความถี่แถบกว้างที่ 500 MHz	14
รูปที่ 2.8	โครงสร้างของระบบสายอากาศแก่งที่ใช้งานในแถบความถี่กว้างโดยใช้วิธีการประมวลผลสัญญาณเชิงตำแหน่งและเวลาโครงสร้างของสายอากาศแบบปรับตัว	15
รูปที่ 2.9	โครงสร้างของระบบสายอากาศแก่งที่ใช้งานในแถบความถี่กว้างโดยวิธีการประมวลผลสัญญาณเชิงตำแหน่งและความถี่	16
รูปที่ 2.10	โครงสร้างของระบบสายอากาศแก่งที่ใช้งานในแถบความถี่กว้างโดยวิธีการประมวลผลสัญญาณเชิงตำแหน่งเพียงอย่างเดียว	17
รูปที่ 2.11	โครงสร้างของระบบสายอากาศแก่งที่ก่อรูปลำคลื่นโดยวิธีประมวลผลเชิงตำแหน่งเพียงอย่างเดียว	18
รูปที่ 2.12	ความสัมพันธ์ของมุมในสมการที่ 3.9 บนระนาบ $u_1 - u_2$	20
รูปที่ 2.13	ตัวอย่างการกำหนดทิศทางของการก่อรูปลำคลื่น และแถบความถี่ที่ใช้งาน	22
รูปที่ 2.14	ฟังก์ชัน H ในระนาบ $u_1 - u_2$ ทิศของพุดคลื่นหลักชี้ที่มุม $\phi_0 = 30^\circ$	23
รูปที่ 2.15	แบบรูปการแผ่พลังงานที่ความถี่ 2.2 GHz เมื่อทิศของพุดคลื่นหลักชี้ที่มุม $\phi_0 = 30^\circ$	25
รูปที่ 2.16	แบบรูปการแผ่พลังงานที่ความถี่ 1.9-2.5 GHz เมื่อทิศของพุดคลื่นหลักชี้ที่มุม $\phi_0 = 30^\circ$	25
รูปที่ 2.17	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศขนาด 20×20 ที่ความถี่ 1.9-2.5 GHz	25
รูปที่ 2.18	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศขนาด 50×50 ที่ความถี่ 1.9-2.5 GHz เมื่อทิศของพุดคลื่นหลักชี้ที่มุม $\phi_0 = 30^\circ$	26

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.19 แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อใช้ฟังก์ชันเซบิเซฟที่ความถี่ 2.2 GHz เมื่อทิศของพู่คลื่นหลักชี้ที่มุม $\phi_0 = 30^\circ$	28
รูปที่ 2.20 แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อใช้ฟังก์ชันเซบิเซฟที่ความถี่ 1.9-2.5 GHz เมื่อทิศของพู่คลื่นหลักชี้ที่มุม $\phi_0 = 30^\circ$	28
รูปที่ 2.21 ฟังก์ชัน H บนระนาบ $u_1 - u_2$ ที่มุม -50° และ 65°	28
รูปที่ 2.22 แบบรูปการแผ่พลังงานของระบบสายอากาศเก่งขนาด 6×6 ที่ความถี่ 1.8-2.4 GHz ในทิศทางมุม -50° และ 65°	31
รูปที่ 2.23 แบบรูปการแผ่พลังงานในทิศทางการเข้ามาของสัญญาณที่มุม 65° ที่ความถี่ 2.15 GHz.....	33
รูปที่ 2.24 แบบรูปการแผ่พลังงานในทิศทางการเข้ามาของสัญญาณที่มุม 65° ที่ความถี่ 1.9-2.4 GHz	34
รูปที่ 2.25 แบบรูปการแผ่พลังงานในทิศทางการเข้ามาของสัญญาณที่มุม 65° ที่ความถี่ 2.15 GHz ที่ได้จากการปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักใหม่.....	36
รูปที่ 2.26 แบบรูปการแผ่พลังงานในทิศทางการเข้ามาของสัญญาณที่มุม 65° ที่ความถี่ 1.9-2.4 GHz ที่ได้จากการปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักใหม่.....	36
รูปที่ 3.1 แผนภาพขั้นตอนการปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก	40
รูปที่ 4.1 แบบรูปการแผ่พลังงานที่มุม -40° และ 45° โดยวิธี IDFT	40
รูปที่ 4.2 แบบรูปการแผ่พลังงานที่มุม -40° และ 45° โดยวิธีปรับแต่งค่า สัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก	40
รูปที่ 4.3 แบบรูปการแผ่พลังงานที่มุม -60° และ 30° โดยวิธี IDFT	46
รูปที่ 4.4 แบบรูปการแผ่พลังงานที่มุม -60° และ 30° โดยวิธีปรับแต่งค่า สัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก	46
รูปที่ 4.5 แบบรูปการแผ่พลังงานที่มุม -40° และ 45° โดยวิธี IDFT	47
รูปที่ 4.7 แบบรูปการแผ่พลังงานที่มุม -40° และ 45° โดยวิธี โดยวิธีปรับแต่งค่า สัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก เมื่อสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักสูงสุดเท่ากับ 20 dB	47

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 4.8 แบบรูปการแผ่พลังงานที่มุม -60° และ 30° โดยวิธี IDFT	49
รูปที่ 4.9 แบบรูปการแผ่พลังงานที่มุม -60° และ 30° โดยวิธีปรับแต่งค่า สัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก	49
รูปที่ 4.10 แบบรูปการแผ่พลังงานที่มุม -60° และ 30° โดยวิธี โดยวิธีปรับแต่งค่า สัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก เมื่อสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักสูงสุดเท่ากับ 25 dB	50
รูปที่ 4.11 แบบรูปการแผ่พลังงานที่มุม -40° และ 45° โดยวิธี IDFT	51
รูปที่ 4.12 แบบรูปการแผ่พลังงานที่มุม -40° และ 45° โดยวิธีปรับแต่งค่า สัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก	51
รูปที่ 4.13 แบบรูปการแผ่พลังงานที่มุม -20° และ 50° โดยวิธี IDFT	52
รูปที่ 4.14 แบบรูปการแผ่พลังงานที่มุม -20° และ 50° โดยวิธีปรับแต่งค่า สัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก	53
รูปที่ 4.10 แบบรูปการแผ่พลังงานที่มุม -20° และ 50° โดยวิธีปรับแต่งค่า สัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก เมื่อสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักสูงสุดเท่ากับ 25 dB	53

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการติดต่อสื่อสารแบบไร้สายได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวันเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะเห็นได้จากความต้องการในการใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทั่วโลก โดยจากสถิติการใช้งานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่พบว่า ในต้นปี พ.ศ. 2545 มีผู้ใช้บริการรวมทั้งหมดถึง 840 ล้านคนทั่วโลก โดยกลุ่มประเทศยุโรปมีสัดส่วนผู้ใช้บริการสูงสุดถึง 36% อันดับสองคือ กลุ่มประเทศในเอเชียแปซิฟิกมีมากถึง 33% ในประเทศสหรัฐอเมริกาและแคนาดา รวมกันมีสัดส่วนสูงถึง 21% ประเทศในอเมริกาเหนือรวมกันทั้งหมดเป็น 8% และที่เหลือเป็นผู้ใช้ในทวีปแอฟริกา และกลุ่มในประเทศตะวันออกกลางซึ่งมีสัดส่วนเป็น 2% สำหรับประเทศที่มีผู้ใช้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นอันดับต้นๆ ได้แก่ ประเทศสหรัฐอเมริกาซึ่งมีจำนวนผู้ใช้มากถึง 123.5 ล้านคน และประเทศสหรัฐอเมริกามีผู้ใช้มากถึง 130 ล้านคน [1] ซึ่งรูปแบบของการให้บริการแบบไร้สายก็มีความหลากหลายมากขึ้นเช่นกัน กล่าวคือ ไม่จำกัดอยู่เฉพาะการสื่อสารด้วยเสียงเท่านั้น การสื่อสารข้อมูลคอมพิวเตอร์ สัญญาณภาพ หรือแม้กระทั่งวีดิทัศน์ก็มีแนวโน้มที่จะถูกใช้งานเพิ่มมากขึ้นในอนาคตอันใกล้

เพื่อรองรับความต้องการที่เพิ่มมากขึ้นดังที่ได้กล่าวมาในข้างต้น ระบบการสื่อสารไร้สายจึงต้องมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น และมีการจัดสรรทรัพยากรความถี่อย่างมีประสิทธิภาพให้เพียงพอต่อความต้องการของผู้ใช้งาน ระบบสายอากาศเก่ง (smart antenna systems) เป็นระบบหนึ่งที่สามารถเพิ่มคุณภาพของสัญญาณ ซึ่งส่งผลให้เกิดการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบการสื่อสารไร้สาย ยิ่งไปกว่านั้น การใช้ระบบสายอากาศเก่งยังช่วยเพิ่มอัตราการใช้ความถี่ซ้ำให้กับระบบได้อีกด้วย เนื่องจากระบบสายอากาศเก่งสามารถหันพู่คลื่นหลัก (main beam) ไปยังทิศทางของสัญญาณที่ต้องการ (desired signal) ในขณะที่เดียวกันก็สามารถหันจุดศูนย์ (nulls) หรือพูข้าง (sidelobes) ไปยังทิศทางของสัญญาณแทรกสอด (interference signal) การกระทำดังกล่าวเรียกว่า การก่อรูปลำคลื่น (beam forming) ซึ่งทำให้สามารถลดผลกระทบจากสัญญาณแทรกสอดที่ใช้ความถี่ร่วมกันได้ [2] สามารถเพิ่มอัตราขยายให้กับระบบ และยังเป็นการประหยัดพลังงานได้อีกด้วย เนื่องจากไม่มีพลังงานส่งไปยังทิศทางที่ไม่ต้องการ การก่อรูปลำคลื่นที่กล่าวมานี้ทำได้ด้วยการปรับแอมพลิจูดหรือเฟสให้กับสัญญาณที่สายอากาศแต่ละต้น หรือที่เรียกว่า การถ่วงน้ำหนัก (weighting) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก (weighting coefficients) สามารถหาได้จากการคำนวณด้วยอัลกอริทึม

ที่มีมากมายในปัจจุบัน ค่าที่ได้นั้นจะเป็นค่าเชิงซ้อน (complex numbers) ซึ่งทำให้เกิดการปรับทั้งแอมพลิจูด และเฟสของสัญญาณที่สายอากาศแต่ละต้น

เมื่อกล่าวถึงความต้องการของผู้ใช้บริการที่มีสูงมากในอนาคตอันใกล้ การส่งสัญญาณจะต้องอาศัยแถบความถี่ที่กว้าง (wideband) การที่จะนำเอาระบบสายอากาศแบบเดิมที่ทำงานได้ดีกับสัญญาณที่มีแถบความถี่แคบ (narrowband) มาใช้กับสัญญาณที่มีแถบความถี่กว้างนั้น ระบบจะไม่สามารถลดผลกระทบของสัญญาณแทรกสอดได้ดีเหมือนเดิม กล่าวคือเราจะไม่สามารถกำหนดให้พหุคูณหลัก และจุดศูนย์ชี้ไปยังตำแหน่งที่ควรจะเป็นได้ในทุกความถี่ตลอดแถบความถี่ที่กว้างได้ และระดับพหุข้างที่ได้ก็จะสูงกว่าเดิมมาก ทำให้ไม่สามารถลดผลกระทบของสัญญาณแทรกสอดได้ดีเหมือนเดิม [3] ดังนั้นที่ผ่านมา จึงมีนักวิจัยได้เสนอระบบสายอากาศเก่งที่สามารถทำงานได้ดีกับสัญญาณที่มีแถบความถี่กว้าง ซึ่งสามารถแบ่งตามลักษณะการประมวลผลสัญญาณได้เป็น 3 แบบ คือ การประมวลผลสัญญาณเชิงตำแหน่งและเวลา (space-time signal processing) การประมวลผลสัญญาณเชิงตำแหน่งและความถี่ (space-frequency signal processing) และการประมวลผลสัญญาณเชิงตำแหน่งเพียงอย่างเดียว (fully spatial signal processing) ซึ่งวิธีการประมวลผลแบบแรกนั้น มีข้อเสียอยู่ที่ต้องเพิ่มจำนวนของแถบสายประวิง (Tapped Delay Lines: TDLs) มากขึ้นเมื่อแถบความถี่กว้างขึ้น เช่นเดียวกันกับในแบบที่สองคือ ต้องเพิ่มจำนวนฟิลเตอร์ (filter) ตามแถบความถี่ที่เพิ่มขึ้น ทำให้ระบบสายอากาศเก่งของทั้งสองแบบแรกมีขนาดใหญ่ ซับซ้อน และส่งผลให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการผลิต ซึ่งต่างจากวิธีการประมวลผลสัญญาณในแบบสุดท้ายที่ไม่จำเป็นต้องใช้ทั้งแถบสายประวิง และฟิลเตอร์ โดยการประมวลผลแบบนี้จะใช้หลักการของการแปลงฟูเรียร์ผกผันของสัญญาณเวลา discrete (Inverse Discrete Fourier Transform: IDFT) ซึ่งรายละเอียดในแต่ละวิธีจะถูกกล่าวไว้ในบทต่อไป

จากการศึกษาบทความวิจัยพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก (weighting coefficients) ที่ได้จากการประมวลผลสัญญาณเชิงตำแหน่งเพียงอย่างเดียวเป็นค่าจริง (real numbers) ซึ่งสามารถใช้ตัวลดทอน หรือตัวขยายสัญญาณในการถ่วงน้ำหนัก เพื่อทำการก่อรูปลำคลื่นไปเพียงทิศทางเดียว หรือมีเพียงหนึ่งลำคลื่นเท่านั้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะวิเคราะห์การก่อรูปลำคลื่นของวิธีการประมวลผลสัญญาณเชิงตำแหน่งเพียงอย่างเดียวในหลายทิศทาง หรือหลายลำคลื่นนั่นเอง ทั้งนี้จะทำให้สายอากาศที่ได้นั้นสามารถใช้งานพร้อมกันได้ ในหลายๆทิศทางที่เฉพาะเจาะจงได้ ยกตัวอย่างเช่น ในโรงพยาบาลที่ในบางจุดต้องการการใช้งานคลื่นความถี่การสื่อสาร แต่ในบางจุดไม่ต้องการ เช่น ห้องเอ็กซเรย์ หรือห้องตรวจคลื่นหัวใจ เป็นต้น สายอากาศแบบนี้จึงเหมาะมากที่จะใช้กับองค์กรประเภทนี้ หรือองค์กรอื่นๆที่มีการเลือกใช้งานเฉพาะบางจุดเท่านั้น เนื่องจากระบบสายอากาศแบบนี้ไม่ต้องใช้สายอากาศหลายๆชุด เป็นการประหยัดพลังงาน และค่าใช้จ่ายในการ

ติดตั้ง อีกทั้งยังเพิ่มอัตราการส่งข้อมูลได้มากขึ้นด้วย นอกจากนี้จะได้ทำการวิเคราะห์เพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมในการปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก ซึ่งเป็นตัวที่จะกำหนดคุณสมบัติของตัวลดทอน หรือตัวขยายสัญญาณ ในอยู่ในย่านการทำงานที่สามารถทำได้จริง แต่ยังคงรักษาคุณสมบัติของแบบรูปการแผ่พลังงานของระบบ ได้เหมือนเดิมเมื่อใช้งานในแถบความถี่กว้าง

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการก่อรูปลำคลื่น โดยวิธีการประมวลผลสัญญาณเชิงตำแหน่งเพียงอย่างเดียวของระบบสายอากาศเก่งที่ใช้งานกับสัญญาณที่มีแถบความถี่กว้าง
2. ศึกษาการก่อรูปลำคลื่นหลายลำคลื่น โดยวิธีการประมวลผลสัญญาณเชิงตำแหน่งเพียงอย่างเดียวของระบบสายอากาศเก่งที่ใช้งานกับสัญญาณที่มีแถบความถี่กว้าง
3. ศึกษา วิเคราะห์ และหาวิธีการปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักที่ได้จากวิธีการประมวลผลสัญญาณเชิงตำแหน่งเพียงอย่างเดียวสำหรับการก่อรูปลำคลื่นหลายลำคลื่น ที่ใช้งานกับสัญญาณความถี่แถบกว้าง
4. จำลองระบบสายอากาศ และทดสอบวิธีการปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักที่ได้จากวิธีการประมวลผลสัญญาณเชิงตำแหน่งเพียงอย่างเดียวของระบบสายอากาศเก่งที่ใช้งานกับสัญญาณความถี่แถบกว้าง

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. งานวิจัยครั้งนี้ทำการวิเคราะห์ และปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักที่ได้จากวิธีการประมวลผลสัญญาณเชิงตำแหน่งเพียงอย่างเดียวของระบบสายอากาศเก่ง
2. ใช้โปรแกรมเมทแลบ (MATLAB) ในการจำลองแบบระบบสายอากาศเก่ง
3. จำลองแบบระบบสายอากาศเก่ง โดยประกอบด้วยสายอากาศแถวลำดับ และใช้วิธีการประมวลผลสัญญาณเชิงตำแหน่งเพียงอย่างเดียว
4. ออกแบบระบบสายอากาศเก่งที่ใช้งานในความถี่ 1.9 GHz – 2.5 GHz วิเคราะห์และปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักของการก่อรูปลำคลื่นที่มากกว่า 1 ลำคลื่น

1.4 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่ได้นำเอากรอบความคิดของวิธีการประมวลผลสัญญาณเชิงตำแหน่งเพียงอย่างเดียวของสายอากาศเก่ง แล้วนำมาประยุกต์เพื่อสร้างลำคลื่นหลายๆลำคลื่น

คลื่นหลายลำคลื่นด้วยโปรแกรม MATLAB														
5. ศึกษาวิธีการปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักของวิธีการก่อรูปลำคลื่นเชิงตำแหน่งเพียงอย่างเดียว														
6. จำลองระบบการปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักของวิธีการก่อรูปลำคลื่นเชิงตำแหน่งเพียงอย่างเดียวด้วยโปรแกรม MATLAB														
7. วิเคราะห์ผลการจำลองสำหรับวิธีการปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักกับวิธีที่ไม่ได้ปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก														
8. สรุปผลการทดลอง														
9. เขียนบทความตีพิมพ์														
10. เขียนรูปเล่มรายงานผลงานวิจัย														

1.8 ประโยชน์ที่ได้รับของโครงการวิจัย

1. ได้วิธีการปรับแต่งสายอากาศสำหรับการก่อรูปลำคลื่นหลายลำคลื่น
2. เผยแพร่องค์ความรู้งานวิจัย โดยตีพิมพ์ในระดับนานาชาติ
3. ได้สายอากาศที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้เครือข่ายได้
4. ได้ระบบสายอากาศเก่งที่ไม่มีความซับซ้อน และสามารถใช้งานได้ดีในแถบความถี่กว้าง

บทที่ 2

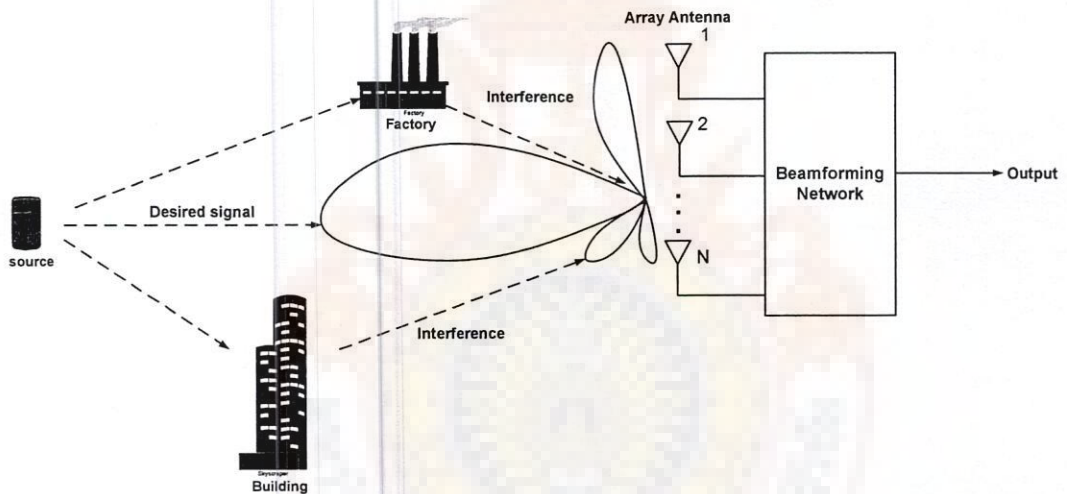
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

ระบบสายอากาศเก่ง คือ ระบบที่ประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆ ได้แก่ สายอากาศแถวลำดับที่จัดเรียงกันในรูปแบบต่างๆ ทำงานร่วมกับอีกส่วนหนึ่งคือ ส่วนของการประมวลผลสัญญาณ ซึ่งส่วนนี้เองเป็นส่วนที่ทำให้ระบบสายอากาศมีความเก่งขึ้นมา ระบบสายอากาศเก่งจะสามารถลดผลกระทบจากสัญญาณแทรกสอดแทรกสอดได้ด้วยการก่อรูปลำคลื่น โดยมีพุดคลื่นหลักซึ่งไปยังทิศทางของสัญญาณที่ต้องการ ในขณะที่เดียวกันก็สามารถหักจุดศูนย์หรือพุดข้าง ไปยังทิศทางของสัญญาณแทรกสอด ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.1 กลไกที่ทำให้ระบบสายอากาศสามารถก่อรูปลำคลื่นได้ หรือพุดคลื่นหนึ่งคือ ระบบสายอากาศมีความเก่งขึ้นมานั้น ได้แก่ การถ่วงน้ำหนักของสัญญาณที่สายอากาศแต่ละต้น การถ่วงน้ำหนักดังกล่าวคือการปรับแอมพลิจูด และเฟสให้กับสัญญาณด้วยค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก ค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักสามารถคำนวณได้จากอัลกอริทึมที่หลากหลายในปัจจุบัน

ระบบสายอากาศเก่งเริ่มมีการนำเสนอในช่วงปี พ.ศ. 2493 โดยโฮเวลล์ (Howells) และแอปเปิลบาม (Applebaum) ณ บริษัทเจนเนอรัลอิเล็กทริก ในปี พ.ศ. 2509 ได้ตีพิมพ์เป็นรายงานจนกระทั่งนำเสนอเป็นบทความทางวิชาการในปี พ.ศ. 2519 นอกจากนี้ยังมีนักวิชาการอีกหลายกลุ่มนำเสนอหลักการของระบบสายอากาศเก่งด้วยเช่นกัน เช่น ชอร์ (Shor) ในปี พ.ศ. 2509 และวิดรอว์ (Widrow) ซึ่งได้ใช้วิธีการคำนวณหาสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักซึ่งเรียกว่า อัลกอริทึมค่าเฉลี่ยกำลังสองน้อยที่สุด (Least Mean Square: LMS) ในปี พ.ศ. 2510 ระบบสายอากาศเก่งได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในเทคโนโลยีด้านเรดาร์และอวกาศ ในช่วงปี พ.ศ. 2543 เป็นต้นมา ต่อมาได้ถูกนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์มากขึ้นอันเป็นผลเนื่องมาจากเทคโนโลยีด้านการประมวลผลสัญญาณที่ดีขึ้น ประกอบกับต้นทุนในการออกแบบและสร้างมีราคาต่ำลง ระบบสายอากาศเก่งถูกนำมาประยุกต์ใช้งานเพื่อแก้ปัญหาข้อจำกัดของช่องสัญญาณ ซึ่งมีอยู่อย่างจำกัด ในขณะที่จำนวนผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ หรือการสื่อสารไร้สายมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ระบบสายอากาศเก่งช่วยปรับปรุงความสามารถของระบบได้ โดยการเพิ่มความจุของช่องสัญญาณ การขยายขอบเขตของการครอบคลุมของสัญญาณ และการปรับลำคลื่นตามทิศทางของสัญญาณเป้าหมาย หรือสัญญาณที่ต้องการ นอกจากนี้ยังช่วยลดปัญหาที่เกิดจากการที่สัญญาณเข้ามาจากทิศทางที่ไม่ต้องการได้

ระบบสายอากาศแ่งมีทั้งระบบไม่ต้องอาศัยข้อมูลของทิศทางการมาถึงของสัญญาณ (Direction Of Arrival: DOA) และระบบที่ต้องรู้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะสนใจระบบที่ต้องอาศัยข้อมูลของทิศทางการมาถึงของสัญญาณ ซึ่งระบบดังกล่าวสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนที่สำคัญ คือ ส่วนของการคำนวณหาทิศทางการมาถึงของสัญญาณ และส่วนของการก่อรูปลำคลื่น ซึ่งวิธีการประมวลผลสัญญาณเพื่อหาทิศทางการมาถึงของสัญญาณนั้นมีหลายวิธี เช่น วิธี Multiple Signal Classification (MUSIC) หรือ วิธี Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariant Technique (ESPRIT) เป็นต้น หลังจากหาทิศทางการมาถึงของสัญญาณได้แล้ว ขั้นตอนต่อไปก็คือการก่อรูปลำคลื่น ซึ่งเป็นวิธีที่จะต้องสร้างแบบรูปการแผ่พลังงานให้มีลำคลื่นหลักชี้ไปยังทิศทางที่คำนวณได้ในขั้นต้น และสามารถหันจุดศูนย์หรือพูข้างไปยังทิศทางของสัญญาณแทรกสอด



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของระบบสายอากาศแ่ง

2.2 ระบบสายอากาศแ่งโดยทั่วไป

ระบบสายอากาศแ่งโดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ ระบบสายอากาศแบบสวิตซ์ลำคลื่น และระบบสายอากาศแบบปรับตัว โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 ระบบสายอากาศแบบสวิตซ์ลำคลื่น

ระบบสายอากาศแบบ สวิตซ์ลำคลื่น (switched beam antennas) ประกอบด้วยสายอากาศแถวลำดับ วงจรข่ายก่อรูปลำคลื่น (beamforming network) และตัวเลือกลำคลื่น (beam selector) ดังที่แสดงในรูปที่ 2.2 เมื่อพิจารณาให้ระบบสายอากาศทำหน้าที่เป็นภาครับ สัญญาณที่ตก

กระทบสายอากาศแต่ละต้นจะถูกส่งไปยังวงจรขยายก่อรูปลำคลื่น เพื่อก่อรูปลำคลื่นในหลายๆ ทิศทางตามที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งสัญญาณขาออกในแต่ละพอร์ตของวงจรขยายก่อรูปลำคลื่นจะแสดงถึงสัญญาณที่ได้จากการก่อรูปลำคลื่นในแต่ละทิศทาง ตัวเลือกลำคลื่นทำจะหน้าที่ในการเลือกสัญญาณในแต่ละทิศทางที่ผ่านมาจากวงจรขยายก่อรูปลำคลื่น และลำคลื่นที่ให้ความแรงของสัญญาณสูงสุดจะถูกเลือกออกมาเป็นสัญญาณขาออกของระบบ

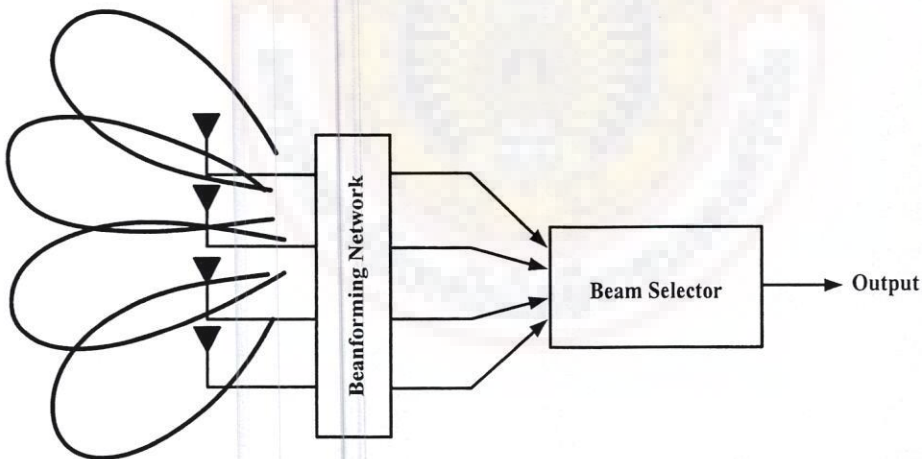
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักสำหรับสัญญาณขาออกที่มีลำคลื่นชี้ไปยังทิศทางที่ m^{th} สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.1

$$\bar{T}_m = [w_{0,m} \quad w_{1,m} \quad \dots \quad w_{N-1,m}] \quad (2.1)$$

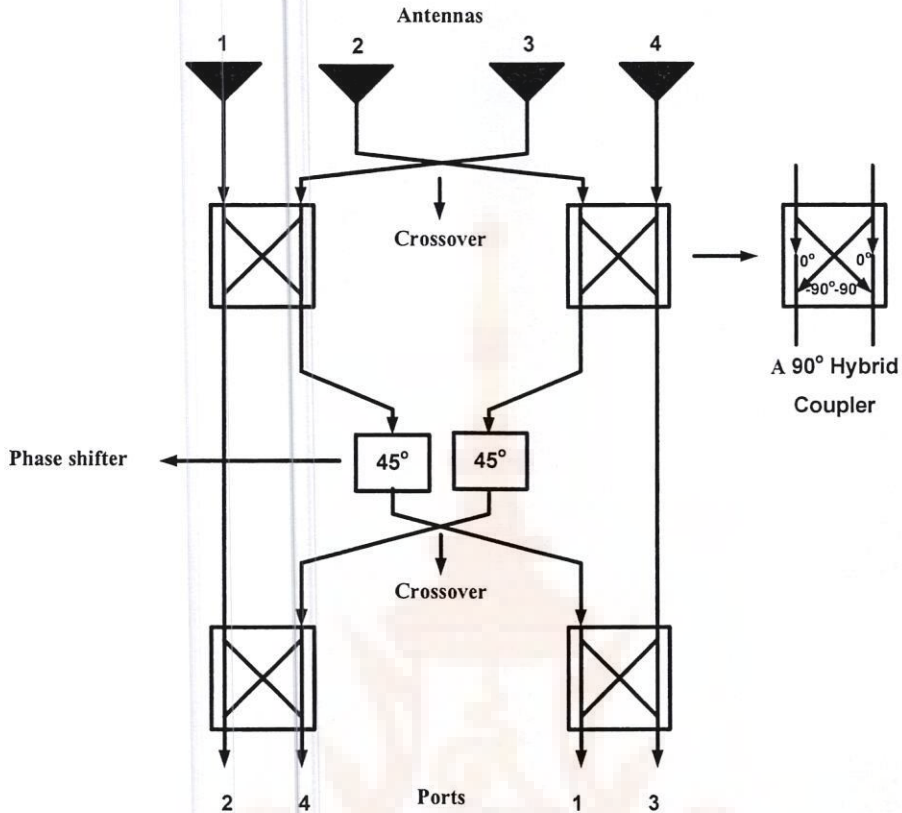
เมื่อ $w_{n,m}$ คือสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักของสายอากาศต้นที่ n^{th} สำหรับการก่อรูปลำคลื่นในทิศทาง m^{th} ซึ่งสัญญาณขาออกระบบสามารถเขียนได้ดังนี้

$$y = \bar{T}^{-1} \bar{x} \quad (2.2)$$

เมื่อ \bar{x} คือ สัญญาณที่รับเข้ามาจากสายอากาศ



รูปที่ 2.2 โครงสร้างพื้นฐานของระบบสายอากาศแบบสวิตซ์ลำคลื่น

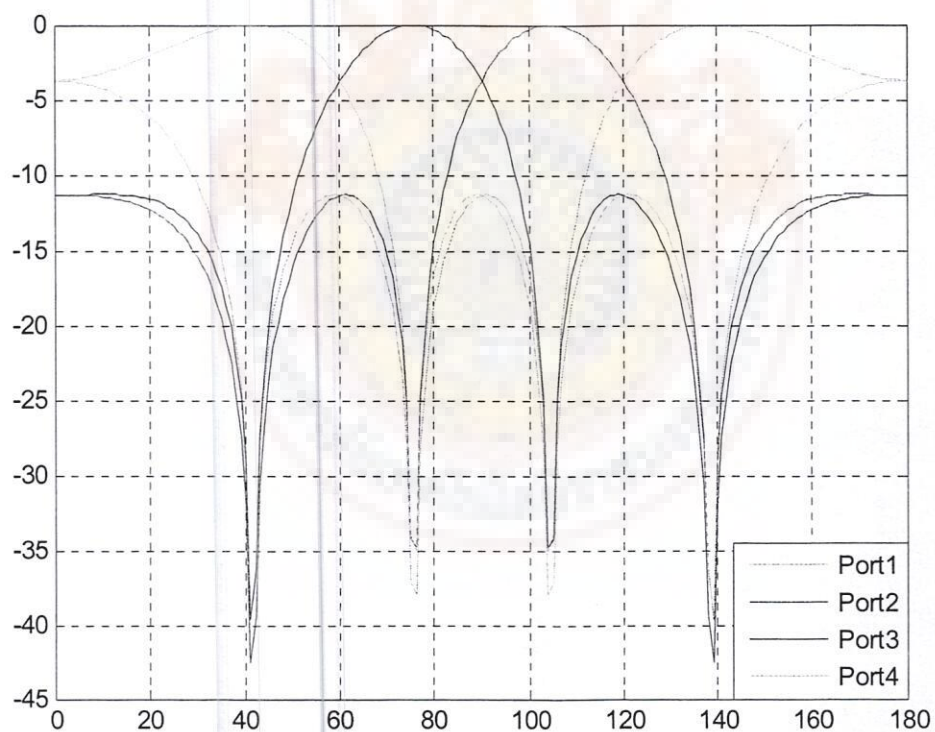


รูปที่ 2.3 โครงสร้างของวงจรข่ายการก่อรูปลำคลื่นแบบ Butler Matrix

ในส่วนของวงจรข่ายการก่อรูปลำคลื่นสำหรับสายอากาศแบบสวิตซ์ลำคลื่น เทคนิคที่นิยมนำมาใช้กันมากได้แก่ วงจรข่ายการก่อรูปลำคลื่นแบบ Butler matrix ซึ่งจะประกอบด้วยสายอากาศแบบแถวลำดับเชิงเส้นจำนวน 4 ต้น แต่ละต้นวางห่างกันครึ่งความยาวคลื่นของความถี่ที่ใช้งาน เมื่อสัญญาณตกกระทบที่สายอากาศ สัญญาณจะถูกส่งผ่านไปยังตัวเชื่อมต่อบนไฮบริด 90° (90° hybrid couplers) ตัวไขว้สัญญาณ (crossovers) และวงจรเลื่อนเฟส (phase-shift circuits) ดังที่แสดงในรูปที่ 2.3 ส่งผลให้สามารถสร้างลำคลื่นที่มีพหุคลื่นหลักชี้ไปที่ 139° 104° 76° และ 41° ตารางที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงความต่างเฟสระหว่างสายอากาศทั้ง 4 ต้น และทิศทางของลำคลื่นที่ได้จากสัญญาณขาออกทั้ง 4 พอร์ต รูปที่ 2.4 แสดงให้เห็นถึงแบบรูปการแผ่พลังงานของทั้ง 4 ลำคลื่น ซึ่งสัมพันธ์กับค่าที่แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ทิศทางของพหุคลื่นหลัก ความต่างเฟส และเฟสของสัญญาณขาออกสำหรับวงจรขยายแบบ Butler matrix

	สายอากาศ ต้นที่ 1	สายอากาศ ต้นที่ 2	สายอากาศ ต้นที่ 3	สายอากาศ ต้นที่ 4	ทิศทาง ของพหุคลื่น หลัก	เฟสระหว่าง องค์ประกอบ สายอากาศ
พอร์ต 1	-45°	-180°	45°	-90°	139°	-135°
พอร์ต 2	-135°	-45°	-90°	-135°	104°	-45°
พอร์ต 3	-135°	-90°	-45°	0°	76°	45°
พอร์ต 4	-90°	45°	-180°	-45°	41°	135°



รูปที่ 2.4 แบบรูปการแผ่พลังงานของทั้ง 4 ลำคลื่นซึ่งสัมพันธ์กับค่าในตารางที่ 2.1

เราสามารถสรุปข้อดี และข้อเสียของระบบสายอากาศแบบสวิตช์ลำคลื่น ได้ดังนี้

ข้อดี

1. ระบบมีความซับซ้อนน้อย
2. สามารถติดตามสัญญาณได้รวดเร็วตามอัตราการปรับเปลี่ยนลำคลื่น
3. ในกรณีที่ระบบใช้จำนวนสายอากาศไม่มากนัก ประสิทธิภาพของสายอากาศแบบ สวิตช์ลำคลื่นจะใกล้เคียงกับสายอากาศแบบปรับตัว

ข้อเสีย

1. อัตราขยายของระบบต่ำในทิศทางที่อยู่ระหว่างลำคลื่น
2. การลดผลกระทบจากสัญญาณแทรกสอดมีข้อจำกัด
3. ในกรณีที่สัญญาณไม่ชัดเจน มีการบดบังสัญญาณ มีการแทรกสอดของสัญญาณ หรือมีสัญญาณมาถึงในมุมกว้างหลายๆมุม อาจมีความผิดพลาดในการเลือก สัญญาณได้

2.2.2 ระบบสายอากาศแบบปรับตัว

ระบบสายอากาศแบบปรับตัว (adaptive antennas) เป็นระบบสายอากาศชนิดที่สามารถปรับเปลี่ยนลำคลื่นให้ชี้ไปในทิศทางใดๆ ได้โดยอิสระ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักจะคำนวณได้จากอัลกอริทึมแบบปรับตัว (adaptive algorithm) โดยหลักการทำงานของระบบนี้คือ เมื่อสัญญาณตกกระทบสายอากาศแต่ละต้น สัญญาณจะถูกส่งไปที่อัลกอริทึมแบบปรับตัว เพื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักแล้วส่งค่ากลับไปยังตัวถ่วงน้ำหนักเพื่อปรับแอมพลิจูดและเฟสของสัญญาณที่ตกกระทบสายอากาศ ซึ่งจะได้สัญญาณขาออกดังสมการที่ 2.3

$$y = \overline{W}x \quad (2.3)$$

เมื่อ x คือ สัญญาณที่มาตกกระทบสายอากาศแต่ละต้น และ \overline{W} คือค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก ระบบจะทำงานลักษณะวงจรปิดแบบนี้ไปเรื่อยๆ จนกว่าจะลดผลกระทบจากสัญญาณแทรกสอดลงได้ วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวมีหลายวิธีขึ้นกับอัลกอริทึมที่เลือกใช้ เช่น อัลกอริทึมค่าเฉลี่ยกำลังสองน้อยที่สุด หรืออัลกอริทึมค่าเฉลี่ยกำลังสองเวียนเกิด (Recursive Least Square: RLS) เป็นต้น จากกระบวนการดังกล่าวจะส่งผลให้ระบบสามารถหันพู่คลื่นหลักไปยังทิศทางที่ต้องการ และหันจุดศูนย์ไปยังทิศทางของสัญญาณแทรกสอดได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.5

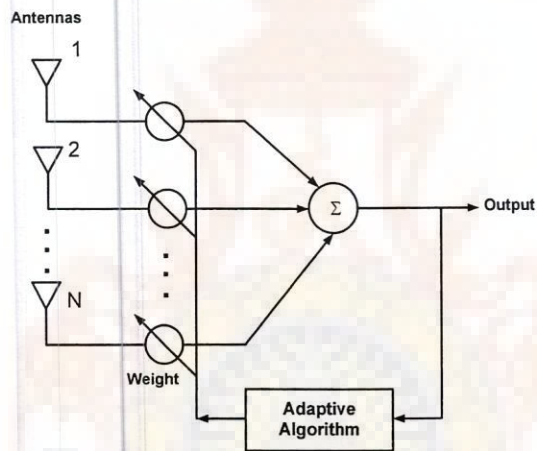
เราสามารถสรุปข้อดีและข้อเสียของสายอากาศแบบปรับตัวได้ดังนี้

ข้อดี

1. ลดผลกระทบจากสัญญาณแทรกสอดจากการใช้ความถี่ร่วมกัน
2. มีอัตราส่วนสัญญาณที่ต้องการต่อสัญญาณแทรกสอดสูง
3. เพิ่มอัตราขยายให้กับระบบ และประหยัดพลังงาน เนื่องจากไม่มีพลังงานส่งไปในทิศทางที่ไม่ต้องการ

ข้อเสีย

1. มีความซับซ้อนของระบบสูงกว่าแบบสวิตช์ลำดับ
2. ต้องการสัญญาณอ้างอิงที่ดีเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด
3. ต้องการหน่วยประมวลผลความเร็วสูง



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของสายอากาศแบบปรับตัว

2.3 ผลกระทบของแถบความถี่กับระบบสายอากาศแก่ง

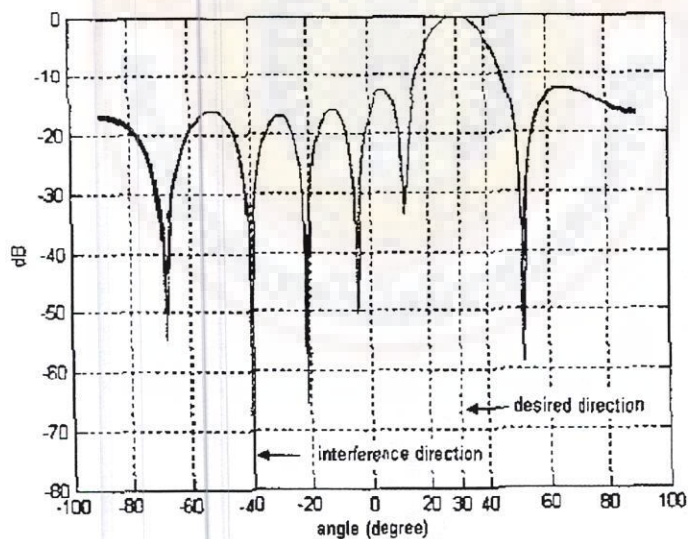
ระบบสายอากาศแก่งที่ใช้ในปัจจุบันส่วนใหญ่จะใช้งานกับสัญญาณที่มีแถบความถี่แคบ โดย การนิยามแถบความถี่ หรือแบนด์วิดท์ (bandwidth) จะนิยามจาก อัตราส่วนของแถบความถี่ที่ใช้งาน กับความถี่กลาง หรือที่เรียกว่า เศษส่วนแบนด์วิดท์ (Fractional Bandwidth: FB) ดังสมการที่ 2.1

$$FB = \frac{f_h - f_l}{(f_h + f_l)/2} \times 100\% \quad (2.1)$$

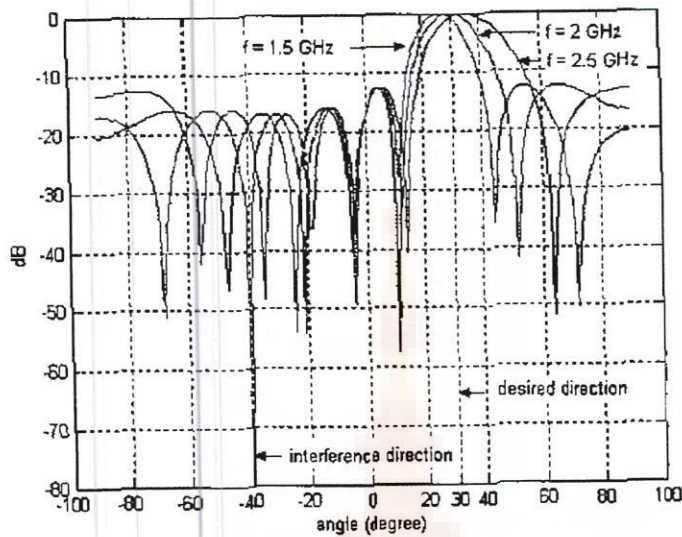
เมื่อ f_h และ f_l แทนความถี่สูงสุด และความถี่ต่ำสุดของความถี่ที่ใช้งาน สำหรับสัญญาณที่มีแถบความถี่แคบจะมีค่า FB เพียงเล็กน้อย คือน้อยกว่า 1% ส่วนสัญญาณจะถูกเรียกว่ามีแถบความถี่กว้างก็ต่อเมื่อคำนวณค่า FB แล้วมีค่าระหว่าง 1% ถึง 50 %

วิธีการก่อรูปลำคลื่นสำหรับระบบสายอากาศเก่งที่ทำงานได้ดีกับสัญญาณที่มีแถบความถี่แคบมีหลายวิธีด้วยกัน ซึ่งในปริทัศน์วรรณกรรม แสดงให้เห็นว่า ระบบดังกล่าวไม่สามารถใช้งานกับสัญญาณที่มีแถบความถี่กว้างได้ การจำลองแบบในคอมพิวเตอร์จากปริทัศน์วรรณกรรมดังกล่าวได้กำหนดให้มีสายอากาศไดโพลแถวลำดับวางเรียงกัน 7 ต้นแบบเชิงเส้น โดยสายอากาศแต่ละต้นวางห่างกันเป็นระยะครึ่งความยาวคลื่น ซึ่งใช้อัลกอริทึมค่าเฉลี่ยกำลังสองน้อยที่สุดในการคำนวณหาความสัมพันธ์การถ่วงน้ำหนัก กำหนดทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการเท่ากับ 30° และสัญญาณแทรกสอดเท่ากับ 40° ผลการจำลองแบบแสดงในรูปที่ 2.6 และ 2.7 เมื่อกำหนดให้ใช้งานกับสัญญาณที่มีแถบความถี่เท่ากับ 10 MHz (แถบแคบ) และ 500 MHz (แถบกว้าง) ตามลำดับ โดยที่มีความถี่กลางเท่ากับ 2 GHz

รูปที่ 2.6 แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้งานกับสัญญาณที่มีแถบความถี่แคบ พูคลื่นหลักและจุดศูนย์ยังสามารถชี้ทิศไปยังทิศทางที่ต้องการและทิศของสัญญาณแทรกสอดได้เป็นอย่างดี ตามลำดับ ซึ่งตรงกันข้ามกับผลที่แสดงในรูปที่ 2.7 โดยจะเห็นได้ว่าเมื่อใช้งานกับสัญญาณที่มีแถบความถี่กว้างพูคลื่นหลัก และจุดศูนย์เกิดการเบี่ยงเบนทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการชี้ทิศทาง ส่งผลให้ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดของระบบมีค่าลดลง ดังนั้นจึงมีการวิจัยและพัฒนาเพื่อทำให้ระบบสายอากาศเก่งสามารถทำงานได้ดีกับสัญญาณที่มีแถบความถี่กว้าง ดังจะแสดงรายละเอียดในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 2.6 แบบรูปการแผ่พลังงานของระบบสายอากาศเก่งที่ใช้งานความถี่แถบแคบที่ 10 MHz



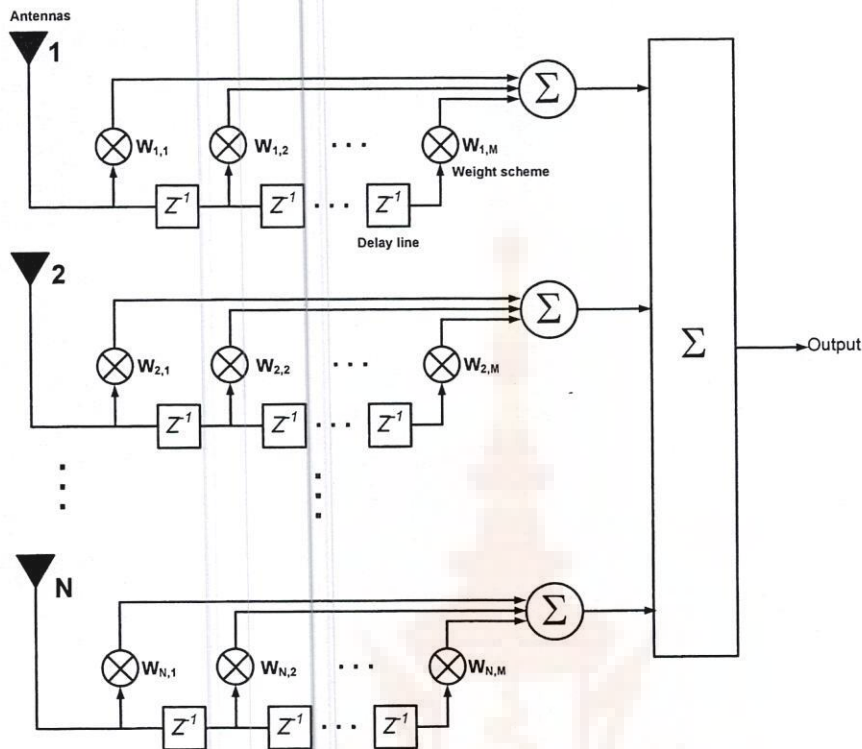
รูปที่ 2.7 แบบรูปการแผ่พลังงานของระบบสายอากาศเก่งที่ใช้งานความถี่แถบกว้างที่ 500 MHz

2.4 ระบบสายอากาศเก่งที่ใช้งานกับสัญญาณที่มีแถบความถี่กว้าง

สายอากาศเก่งที่ใช้ในแถบความถี่กว้างมีระเบียบวิธีการก่อรูปลำคลื่น 3 แบบ คือ วิธีการประมวลผลสัญญาณเชิงตำแหน่งและเวลา วิธีการประมวลผลสัญญาณเชิงตำแหน่งและความถี่ และวิธีการประมวลผลสัญญาณเชิงตำแหน่งเพียงอย่างเดียว โดยแต่ละแบบมีรายละเอียดโดยสังเขปดังนี้

2.4.1 วิธีการประมวลผลสัญญาณเชิงตำแหน่งและเวลา

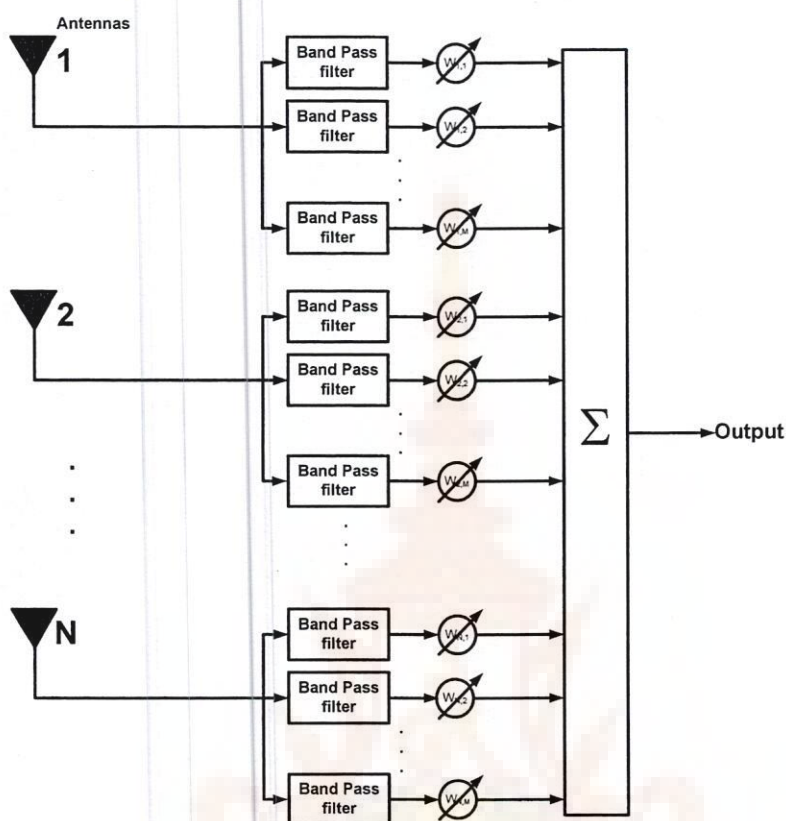
วิธีการประมวลผลสัญญาณเชิงตำแหน่งและเวลา คือ การนำเอาข้อมูลในเชิงตำแหน่งและเวลามาประมวลผลรวมกันซึ่งมีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.8 ซึ่งจากรูปจะเห็นว่า ส่วนของการประมวลผลเชิงตำแหน่ง ขึ้นอยู่กับชนิดของสายอากาศ และการวางตัวของสายอากาศแถวลำดับ และส่วนของการประมวลผลในเชิงเวลาในรูปก็คือ ส่วนของสายประวิงซึ่งต่ออยู่กับสายอากาศแต่ละต้น โดยจะทำหน้าที่ในการประวิงเวลาสัญญาณ และหลังจากนั้นสัญญาณจะถูกถ่วงน้ำหนักด้วยตัวถ่วงน้ำหนัก ซึ่งสัญญาณที่มีความถี่ต่ำกว่าก็จะมีเวลาประวิงเวลาน้อยกว่าสัญญาณที่มีความถี่สูงกว่า เมื่อสัญญาณเคลื่อนที่ด้วยระยะทางเดียวกัน ทำให้การประวิงเวลาของสายประวิงนั้นขึ้นกับความกว้างของแถบความถี่สัญญาณ เมื่อสัญญาณมีแถบความถี่เพิ่มขึ้น จำนวนครั้งของการประวิงเวลาก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ทำให้ระบบมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น จากรูปเมื่อสัญญาณผ่านสายประวิงแล้ว สัญญาณทั้งหมดก็จะถูกรวมกันกลายเป็นสัญญาณขาออก



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของระบบสายอากาศแ่งที่ใช้งานในแถบความถี่กว้าง โดยใช้วิธีการประมวลผลสัญญาณเชิงตำแหน่งและเวลา

2.4.2 วิธีการประมวลผลสัญญาณเชิงตำแหน่งและความถี่

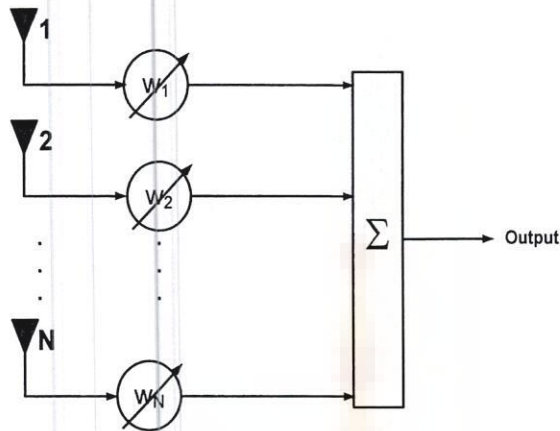
การประมวลผลสัญญาณสำหรับระบบสายอากาศแ่งที่ใช้งานกับสัญญาณที่มีแถบความถี่กว้างโดยไม่จำเป็นต้องใช้แถบสายประวิงอีกวิธีหนึ่ง คือ วิธีการประมวลผลสัญญาณเชิงตำแหน่งและความถี่ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 สัญญาณที่ตกกระทบที่สายอากาศแ่งลำดับแต่ละต้นจะถูกกรองออกเป็นสัญญาณความถี่แคบด้วยวงจรกรองผ่านความถี่ (band-pass filter) ซึ่งสัญญาณที่ได้จากวงจรกรองผ่านความถี่นั้นต้องไม่มีการคาบเกี่ยวกันของสัญญาณขาออกที่ได้ หลังจากนั้นสัญญาณที่ได้ก็จะถูกถ่วงน้ำหนักด้วยตัวถ่วงน้ำหนัก ก่อนที่สัญญาณทั้งหมดจะถูกรวมกันเป็นสัญญาณขาออกของระบบสายอากาศแ่งประเภทนี้ ซึ่งจะเห็นได้ว่าจากกระบวนการดังกล่าว หากต้องการใช้วิธีการประมวลผลสัญญาณวิธีนี้กับสัญญาณความถี่ที่มีแถบกว้างขึ้น จำเป็นต้องเพิ่มจำนวนของวงจรกรองผ่านความถี่ตามไปด้วยเช่นกัน ทำให้วงจรข่ายของระบบสายอากาศแ่งที่ประมวลผลสัญญาณด้วยวิธีนี้มีขนาดใหญ่ และการสร้างวงจรกรองผ่านความถี่ให้มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ เพื่อลดการคาบเกี่ยวกันของสัญญาณนั้นทำได้ยาก และสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากขึ้นด้วย ทำให้ไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้กับสัญญาณที่มีแถบความถี่กว้างมากๆ



รูปที่ 2.9 โครงสร้างของระบบสายอากาศเก่งที่ใช้งานในแถบความถี่กว้าง โดยใช้วิธีการประมวลผลสัญญาณเชิงตำแหน่งและความถี่

2.4.3 วิธีการประมวลผลสัญญาณเชิงตำแหน่งเพียงอย่างเดียว

ในช่วงระยะไม่กี่ปีที่ผ่านมา ได้มีการคิดค้นวิธีการใหม่แทนที่สองวิธีการแรก โดยที่วิธีการใหม่นี้ไม่จำเป็นต้องใช้แถบสายประวิง หรือวงจรกรองผ่านความถี่ เพื่อลดความซับซ้อนของระบบสายอากาศเก่ง วิธีการดังกล่าวนี้เรียกว่า วิธีการประมวลผลสัญญาณเชิงตำแหน่งเพียงอย่างเดียว โดยวิธีนี้จะอาศัยหลักการของผลการแปลงฟูเรียร์ผกผันของสัญญาณเวลาดิสครีต มาประยุกต์ในการหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก โครงสร้างการทำงานของ การประมวลผลสัญญาณแสดงได้ดังรูปที่ 2.10 เมื่อสัญญาณตกกระทบที่สายอากาศแถวลำดับ สัญญาณที่ได้รับจากสายอากาศแต่ละต้นจะถูกถ่วงน้ำหนักด้วยตัวถ่วงน้ำหนัก และถูกรวมกันออกเป็นสัญญาณขาออก ซึ่งจะเห็นได้ว่าระบบไม่มีความซับซ้อน ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดในการหาสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักในบทถัดไป



รูปที่ 2.10 โครงสร้างของระบบสายอากาศกึ่งที่ใช้งานในแถบความถี่กว้าง โดยใช้วิธีการประมวลผลสัญญาณเชิงตำแหน่งเพียงอย่างเดียว

2.5 ระบบสายอากาศกึ่งที่ทำงานในแถบกว้างกับการประมวลผลสัญญาณเชิงตำแหน่งเพียงอย่างเดียว

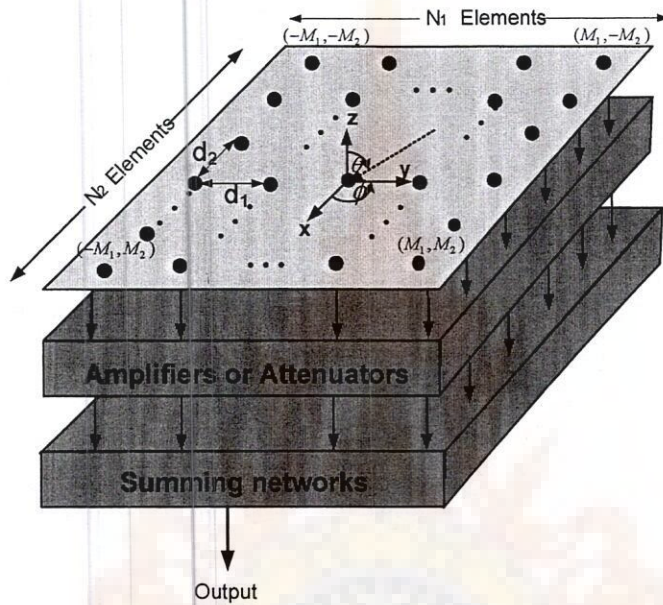
ในส่วนนี้จะกล่าวถึงหลักการประมวลผลสัญญาณของระบบสายอากาศกึ่งที่ทำงานในแถบกว้าง ซึ่งการประมวลผลสัญญาณดังกล่าวจะใช้ข้อมูลทางตำแหน่งเพียงอย่างเดียว ซึ่งประกอบด้วยหัวข้อแรกจะเป็นวิธีการก่อรูปลำคลื่นที่ใช้งานกับสัญญาณที่มีแถบความถี่กว้าง โดยวิธีการประมวลผลเชิงตำแหน่งเพียงอย่างเดียวใน 2 มิติ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก ถัดมาจะกล่าวถึงวิธีการลดฟูซิงโดยใช้ฟังก์ชันเชบิเชฟ (Chebyshev function) ในหัวข้อที่สามจะกล่าวถึงการก่อรูปลำคลื่นหลายลำคลื่นด้วยการประมวลผลเชิงตำแหน่งเพียงอย่างเดียว และหลังจากนั้นจะเป็นการกล่าวสรุปของบทนี้

2.5.1 วิธีการก่อรูปลำคลื่นโดยวิธีการประมวลผลเชิงตำแหน่งเพียงอย่างเดียว

สำหรับวิธีการก่อรูปลำคลื่นโดยวิธีการประมวลผลเชิงตำแหน่งเพียงอย่างเดียวเพื่อใช้งานในแถบความถี่กว้างจะต้องใช้สายอากาศแถวลำดับเชิงระนาบ (planar array) และในการหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักต้องอาศัยการแปลงฟูเรียร์ผกผันของสัญญาณเวลาดิสครีต ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

จากรูปที่ 2.11 จะเห็นว่าสายอากาศที่ใช้เป็นสายอากาศแถวลำดับเชิงระนาบแบบ 2 มิติ และองค์ประกอบของสายสายอากาศแต่ละตัวจะวางตัวแบบสี่เหลี่ยมมุมฉาก โดยสายอากาศแต่ละต้นจะถูกถ่วงด้วยตัวถ่วงน้ำหนักเพื่อทำการปรับสัญญาณให้ได้ทิศทางตามที่ต้องการ สัญญาณที่ถูกถ่วงน้ำหนักแล้วจะรวมกันออกมาเป็นสัญญาณขาออก เมื่อพิจารณาสายอากาศแถวลำดับซึ่งมี

จำนวน $N_1 \times N_2$ วางห่างกันเป็นระยะ d_1 และ d_2 ในทิศทางที่ตั้งฉากกัน โดยมีค่าเท่ากับครึ่งความยาวคลื่น $\left(\frac{\lambda}{2}\right)$ ของความถี่สูงสุด และสายอากาศแต่ละต้นจะถูกกำหนดให้วางอยู่ที่ตำแหน่ง (m_1, m_2) เมื่อ $-M_1 \leq m_1 \leq M_1$ และ $-M_2 \leq m_2 \leq M_2$ โดยที่ M และ N มีความสัมพันธ์กันคือ $M_i = (N_i - 1) / 2$



รูปที่ 2.11 โครงสร้างของระบบสายอากาศเก่งที่ก่อรูปลำคลื่น
โดยวิธีประมวลผลเชิงตำแหน่งเพียงอย่างเดียว [11]

พิจารณาสัญญาณที่ตกกระทบ หรือถูกส่งออกไปในทิศทางมุมแอสิมัท (azimuth) ของสายอากาศแถวลำดับที่มุม ϕ เมื่อ $\theta = 90^\circ$ เฟสของสัญญาณที่ตำแหน่ง (m_1, m_2) ของสายอากาศแถวลำดับเมื่อเทียบกับตำแหน่งอ้างอิงซึ่งเป็นจุดศูนย์กลางของระนาบสายอากาศ จะมีค่าเท่ากับ

$$\psi(m_1, m_2) = \left(\frac{2\pi f}{c}\right)(d_1 m_1 \sin \phi + d_2 m_2 \cos \phi) \quad (2.2)$$

เมื่อ f คือ ความถี่ และ c คือ ความเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในอวกาศว่าง และแบบรูปการแผ่พลังงานในฟังก์ชันของความถี่และมุมของคลื่นที่ตกกระทบของระบบสายอากาศเก่งสามารถเขียนได้ดังนี้

$$H(f, \phi) = G(f, \phi) \cdot \sum_{m_1=-M_1}^{M_1} \sum_{m_2=-M_2}^{M_2} w_{m_1, m_2} e^{j(2\pi f/c)(d_1 m_1 \sin \phi + d_2 m_2 \cos \phi)} \quad (2.3)$$

เมื่อ w_{m_1, m_2} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักของสายอากาศที่ตำแหน่ง (m_1, m_2) และ $G(f, \phi)$ คือ อัตราขยายของสายอากาศในฟังก์ชันของความถี่และมุม จากสมการที่ 2.3 เราจะทำการสร้างฟังก์ชันช่วย (auxiliary function) ขึ้นมา 2 ฟังก์ชัน ดังนี้

$$u_1 = (fd_1/c) \sin \phi \quad (2.4)$$

และ
$$u_2 = (fd_2/c) \cos \phi \quad (2.5)$$

สมการที่ 2.4 และ 2.5 มีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\frac{u_1}{u_2} = \frac{d_1}{d_2} \tan \phi \quad (2.6)$$

สมการที่ 2.6 แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนของฟังก์ชันช่วยเป็นอิสระจากความถี่ ซึ่งหมายความว่า เราสามารถกำหนดความถี่ให้มีขนาดเท่าใดก็ได้ในทิศทางของมุมที่เราต้องการ จุดนี้เองทำให้ผลตอบแทนของระบบสายอากาศแก่ประเภทนี้เป็นอิสระจากความถี่ คือสามารถกำหนดแถบความถี่ให้มีความกว้างขนาดเท่าใดก็ได้ และเมื่อแทนสมการที่ 2.4 และ 2.5 ในสมการที่ 2.3 เราสามารถจัดรูปสมการใหม่ได้ดังนี้

$$H(u_1, u_2) = G(u_1, u_2) \cdot \sum_{u_1=-0.5}^{0.5} \sum_{u_2=-0.5}^{0.5} w_{m_1, m_2} e^{j(2\pi)(u_1 m_1 + u_2 m_2)} \quad (2.7)$$

ระนาบ $u_1 - u_2$ และขอบเขตของ u_1 และ u_2 จะอยู่ในช่วง -0.5 ถึง 0.5 เนื่องจาก

$$|u_1| = \left| \frac{fd_1}{c} \sin \phi \right| \leq \frac{fd_1}{c} \leq \frac{f \lambda_{\min}}{c} = \frac{f}{c} \frac{c}{2f_h} \leq 0.5 \quad (2.8)$$

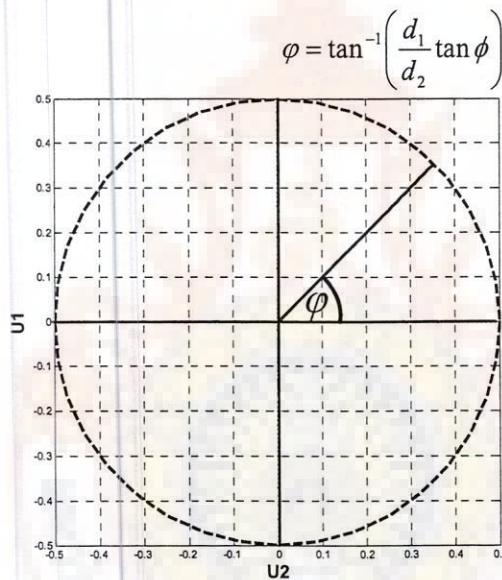
เช่นเดียวกันกับฟังก์ชันของ u_2 นั่นคือ

$$|u_2| = \left| \frac{fd_2}{c} \cos \phi \right| \leq \frac{fd_2}{c} \leq \frac{f \lambda_{\min}}{c} = \frac{f}{c} \frac{c}{2f_h} \leq 0.5 \quad (2.9)$$

ถ้าเรากำหนดให้มุม φ เป็นมุมบนระนาบของ $u_1 - u_2$ ดังนั้น

$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{d_1}{d_2} \tan \phi \right) \quad (2.10)$$

ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ของมุม φ จากสมการที่ 2.10 บนระนาบ $u_1 - u_2$ เมื่อ $d_1 = d_2$ ได้ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ความสัมพันธ์ของมุมในสมการที่ 3.9 บนระนาบ $u_1 - u_2$

และสามารถจัดรูปสมการที่ 2.4 และ 2.5 ใหม่ได้ดังนี้

$$\left(\frac{u_1}{(fd_1/c)} \right)^2 = \sin^2 \phi \quad (2.11)$$

และ

$$\left(\frac{u_2}{(fd_2/c)} \right)^2 = \cos^2 \phi \quad (2.12)$$

นำสมการที่ 2.11 บวกกับสมการที่ 2.12 จะได้

$$\left(\frac{u_1}{(fd_1/c)}\right)^2 + \left(\frac{u_2}{(fd_2/c)}\right)^2 = \sin^2 \phi + \cos^2 \phi = 1 \quad (2.13)$$

จากสมการที่ 2.13 เมื่อพิจารณาเราจะเห็นว่า สมการที่ได้เป็นสมการของรูปวงรี ที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่จุด $u_1 = u_2 = 0$ และ จะกลายเป็นสมการวงกลมทันที เมื่อ $d_1 = d_2$ นั่นคือจะได้ $u_1^2 + u_2^2 = (fd/c)^2$ โดยที่ fd/c คือ รัศมีของวงกลม สมการที่ 2.10 และ 2.13 แทนการแสดงตำแหน่งของมุม และความถี่ที่คงที่ในระนาบ $u_1 - u_2$ ซึ่งรูปที่ 2.12 นี้จะใช้เป็นรูปที่ใช้ในการออกแบบผลตอบสนองของระบบบนแถบความถี่กว้างต่อไป

ถ้าเราสมมติให้ทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่ต้องการคือ $\phi = \phi_0$ ความถี่ $f_l < f < f_h$ และ $f = f_0$ การแสดงจุดหรือตำแหน่งบนระนาบ $u_1 - u_2$ ที่เราต้องการจะถูกจำกัดด้วยค่ามุม $\phi = \tan^{-1}((d_1/d_2) \tan \phi_0)$ และ $r_l < |r| < r_h$ ดังแสดงในรูปที่ 2.13 โดยที่

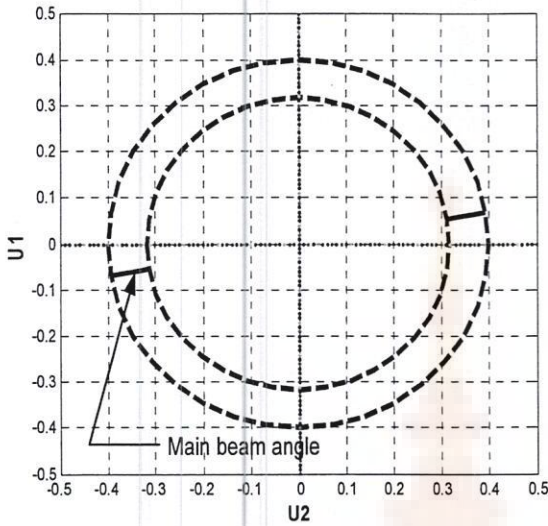
$$r_l = \frac{f_l \bar{d}}{c} \quad (2.14)$$

$$r_h = \frac{f_h \bar{d}}{c} \quad (2.15)$$

เมื่อ

$$\bar{d} = \sqrt{d_1^2 \sin^2 \phi_0 + d_2^2 \cos^2 \phi_0} \quad (2.16)$$

โดยตำแหน่งหรือจุดที่แสดงบนระนาบ $u_1 - u_2$ จะสมมาตรกันที่จุดกำเนิดของระนาบ $u_1 - u_2$ ส่งผลให้สามารถหาค่าจริงซึ่งเป็นค่าถ่วงน้ำหนักของสายอากาศแต่ละตัวได้



$$\phi_0 = \tan^{-1} \left(\frac{d_1}{d_2} \tan \phi_0 \right)$$

$$r = \sqrt{u_1^2 + u_2^2}$$

$$r_i = \frac{f_l \bar{d}}{c}$$

$$r_h = \frac{f_h \bar{d}}{c}$$

$$\bar{d} = \sqrt{d_1^2 \sin^2 \phi_0 + d_2^2 \cos^2 \phi_0}$$

$$r_i < r < r_h$$

รูปที่ 2.13 ตัวอย่างการกำหนดทิศทางของการก่อรูปลำคลื่น และแถบความถี่ที่ใช้งาน

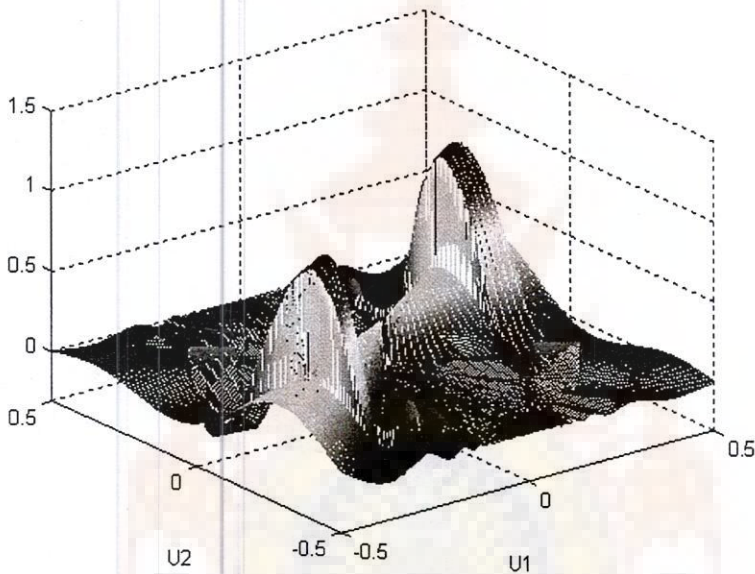
จากรูปที่ 2.13 แสดงวงกลม 2 วงบนระนาบ $u_1 - u_2$ ซึ่งวงกลม 2 วงนี้แทนขอบเขตของแถบความถี่ที่ใช้งานคือ 1.9 GHz-2.4 GHz โดยที่ความถี่สูงสุดของแถบความถี่ที่กำหนดคือ 3 GHz และทิศทางของพู่คลื่นหลักชี้ไปที่มุม 10°

ในการก่อรูปลำคลื่นจะใช้ผลการแปลงฟูเรียร์ผกผันของสัญญาณเวลาติดคริต ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ ในขั้นแรกกำหนดให้สายอากาศแถวลำดับเชิงระนาบ แต่ละต้นเป็นสายอากาศแบบรอบทิศทางในระนาบเดียว (omnidirectional antenna) ด้วยอัตราขยาย $G(u_1, u_2) = 1$ ดังนั้นและฟังก์ชัน $H(u_1, u_2)$ เป็นฟังก์ชันซิงก์ (Sinc function) ในบริเวณที่เราเลือกซึ่งเป็นแถบความถี่ที่เราต้องการ มีค่าเท่ากับ 1 บริเวณนอกเหนือจากนั้นมีค่าเป็น $1/\sqrt{10}$ คือ มีค่าลดลง 10 dB สามารถแสดงสมการได้ดังนี้

$$H(u_1, u_2) = \begin{cases} \frac{\sin \left[\alpha \pi \frac{u_1}{u_2} - \tan \phi_0 \right]}{\alpha \pi \frac{u_1}{u_2} - \tan \phi_0} & , r_i < |r| < r_h \\ \frac{1}{\sqrt{10}} & , otherwise \end{cases} \quad (2.17)$$

จากที่ได้กล่าวมาทั้งหมดในหัวข้อนี้ หากเราทำการจำลองโปรแกรมโดยกำหนดให้สายอากาศแถวลำดับมีขนาด 4×4 สายอากาศแต่ละต้นวางห่างกัน $\frac{\lambda}{2}$ ที่ความถี่สูงสุดซึ่งเท่ากับ 3 GHz และแถบความถี่ที่ใช้งานคือ 1.9 -2.5 GHz ความถี่กลาง 2.2 GHz ทิศของพุดคลื่นหลักชี้ที่มุม $\phi_0 = 30^\circ$ และกำหนดให้มีแบบรูปการแผ่พลังงาน เป็นไปตามสมการที่ 2.17

ดังนั้นสามารถแสดงฟังก์ชันของ H ในระนาบ $u_1 - u_2$ ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ฟังก์ชัน H ในระนาบ $u_1 - u_2$ ทิศของพุดคลื่นหลักชี้ที่มุม $\phi_0 = 30^\circ$

และทำการหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก จากการทำ IDFT จากสมการที่ 2.7 จะได้

$$w_{m_1, m_2} = (1/N_{u_1} \cdot N_{u_2}) \sum_{u_1=-0.5}^{0.5} \sum_{u_2=-0.5}^{0.5} (H(u_1, u_2)/G(u_1, u_2)) \cdot e^{-j2\pi u_1 m_1} e^{-j2\pi u_2 m_2} \quad (2.18)$$

เมื่อ N_{u_1} และ N_{u_2} คือ จำนวนการชักตัวอย่างจุดบนระนาบ $u_1 - u_2$ โดยที่ $N_{u_1} \cong 2N_1$ และ $N_{u_2} \cong 2N_2$ จึงจะทำให้ได้ค่าถ่วงน้ำหนักที่ให้แบบรูปมีเสถียรภาพ ถึงแม้ว่าจำนวนของสายอากาศจะมีขนาดเล็กก็ตาม

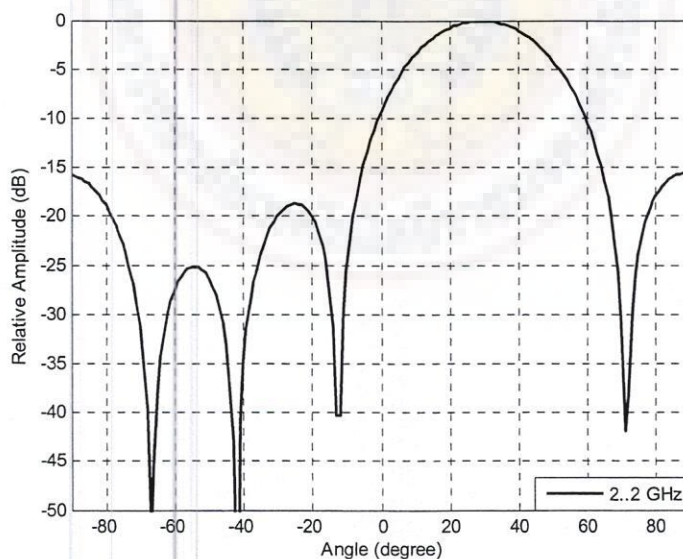
ดังนั้นเมื่อแทนค่าสมการที่ 2.18 สามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก ซึ่งเป็นค่าลดทอนของระบบสายอากาศแ่ง และค่าที่ได้เป็นจำนวนจริง ส่วนค่าที่ติดเครื่องหมายดอกจัน คือ

สัญญาณที่ผ่านการถ่วงน้ำหนักด้วยสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักแล้วจะถูกเลื่อนเฟสไปอีก 180° ดังแสดงในตารางที่ 2.2

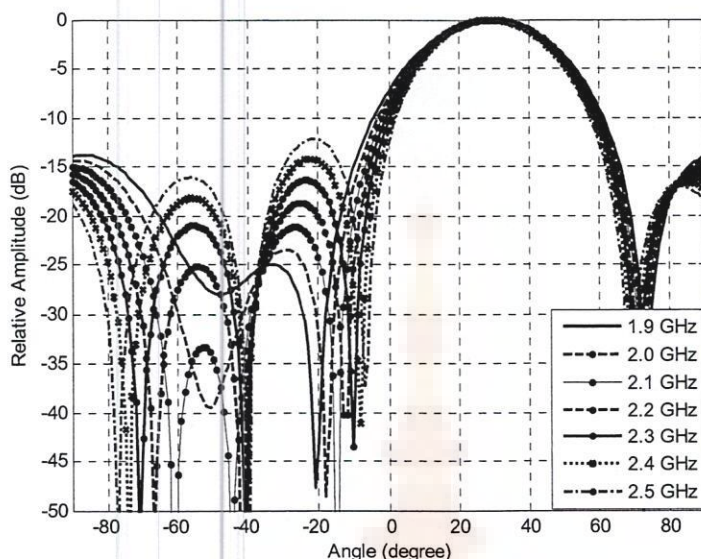
ตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักของระบบสายอากาศเก่งขนาด 4×4

สายอากาศต้นที่	ค่าการลดทอนของสายอากาศ (dB)	สายอากาศต้นที่	ค่าการลดทอนของสายอากาศ (dB)
1	14.86	9	2.28
2	7.01*	10	0
3	2.98*	11	20.61*
4	12.23	12	2.61*
5	2.61*	13	12.23
6	20.61*	14	2.98*
7	0	15	7.01*
8	2.28	16	14.86

รูปที่ 2.15 และรูปที่ 2.16 แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานของสัญญาณที่ผ่านการถ่วงน้ำหนักแล้วของระบบสายอากาศเก่งที่ได้ออกแบบไว้ที่ความถี่ 2.2 GHz และ 1.9-2.5 GHz ตามลำดับ โดยมีทิศของพอลิโนหลักที่มุม 30°

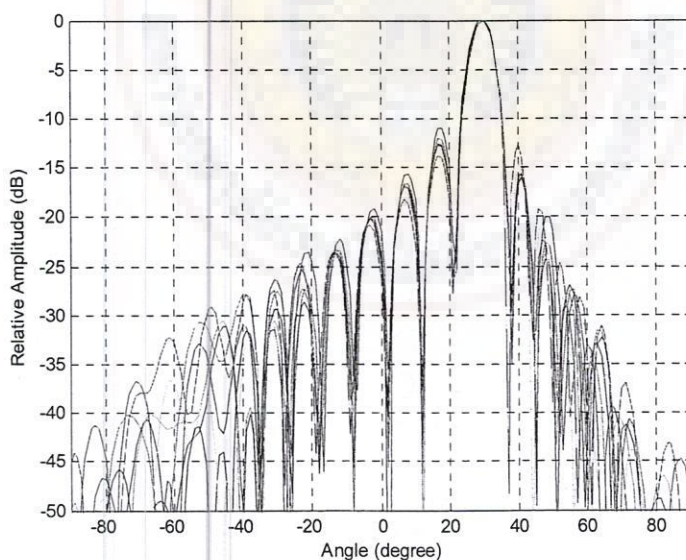


รูปที่ 2.15 แบบรูปการแผ่พลังงานที่ความถี่ 2.2 GHz เมื่อทิศของพอลิโนหลักชี้ที่มุม $\phi_0 = 30^\circ$

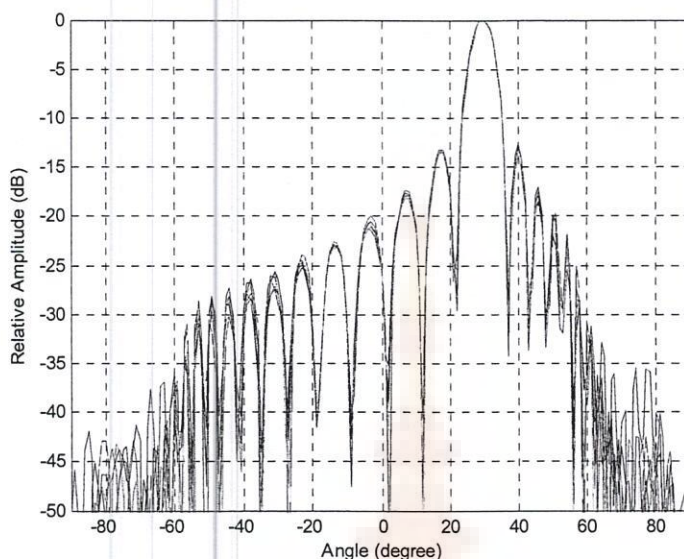


รูปที่ 2.16 แบบรูปการแผ่พลังงานที่ความถี่ 1.9-2.5 GHz เมื่อทิศของพู่คลื่นหลักชี้ที่มุม $\phi_0 = 30^\circ$

จากผลการจำลองดังกล่าวหากเราเปลี่ยนขนาดของสายอากาศให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เช่น สายอากาศแถวลำดับมีขนาด 20×20 หรือ 50×50 ก็จะทำให้แบบรูปการแผ่พลังงานที่มีลำคลื่นหลักที่แคบลง ตามจำนวนสายอากาศที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.18 และรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.17 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศขนาด 20×20 ที่ความถี่ 1.9-2.5 GHz เมื่อทิศของพู่คลื่นหลักชี้ที่มุม $\phi_0 = 30^\circ$



รูปที่ 2.18 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศขนาด 50×50 ที่ความถี่ 1.9-2.5 GHz
เมื่อทิศของพหุคลื่นหลักชี้ที่มุม $\phi_0 = 30^\circ$

2.5.2 การลดระดับพู่ข้างด้วยฟังก์ชันเชบีเชฟ

ในหัวข้อที่แล้วจะเห็นได้ว่า ถ้าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักที่ได้จากการประมวลผลเชิงตำแหน่งเพียงอย่างเดียวเป็นค่าจริง ซึ่งการถ่วงน้ำหนักจะไม่ต้องอาศัย ฟิเตอร์ หรือแถบสายประวิงแต่อย่างใด เพียงแค่ใช้ตัวลดทอนหรือตัวขยายสัญญาณเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าระดับพู่ข้างยังมีระดับที่สูงอยู่ ซึ่งจะส่งผลให้มีอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดที่ต่ำ และทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงาน โดยใช่เหตุ ในหัวข้อนี้จึงนำเสนอวิธีการลดระดับพู่ข้างด้วยฟังก์ชันเชบีเชฟดังนี้

จากการใช้วิธีผลการแปลงฟูเรียร์ผกผันของสัญญาณเวลาดิสครีตในการหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักของสายอากาศแต่ละต้นในคังสมการที่ 2.18 ซึ่งถ้าเราให้ แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเป็นไปตามฟังก์ชัน $H(u_1, u_2)$ ที่พิจารณานั้นเป็นฟังก์ชันซิงก์ จะให้อัตราขยายของสายอากาศสูงสุดในทิศทางที่เราต้องการเท่านั้น จึงทำให้ระดับพู่ข้างสูง ดังนั้นเพื่อเป็นการลดระดับของพู่ข้าง จึงนำเสนอการใช้ฟังก์ชันเชบีเชฟแทนที่ฟังก์ชันเดิม ซึ่งสามารถหาแบบรูปการแผ่พลังงานที่ต้องการบนระนาบ $u_1 - u_2$ ได้ดังนี้

$$H(u_1, u_2) = \begin{cases} X & \text{desired frequency band} \\ \frac{1}{\sqrt{10}} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.19)$$

เมื่อ

$$X = \begin{cases} (-1)^N \cosh(N \cdot \operatorname{arccosh} |x|) & , x < -1 \\ \cos(N \cdot \arccos x) & , |x| \leq 1 \\ \cosh(N \cdot \operatorname{arccosh} x) & , x \geq 1 \end{cases} \quad (2.20)$$

และ

$$x = x_0 \cos(u/2)$$

$$x_0 = \cosh \frac{\operatorname{arccosh} SLL_{dB}}{N-1}$$

$$u = \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right) d \sin \phi$$

SLL_{dB} คือ ระดับพ่วงข้างในหน่วยเดซิเบล

ดังนั้น

$$x = x_0 \cos \left(\left(\frac{2\pi}{\lambda} \right) d \sin \phi \right) \quad (2.21)$$

และจากสมการที่ 2.21 มุมที่เข้ามาของสัญญาณที่จำลองขึ้นในระนาบของ $u_1 - u_2$ คือ

$$\theta = a \tan \left(\frac{u_1}{u_2} - \phi_0 \right) \quad (2.22)$$

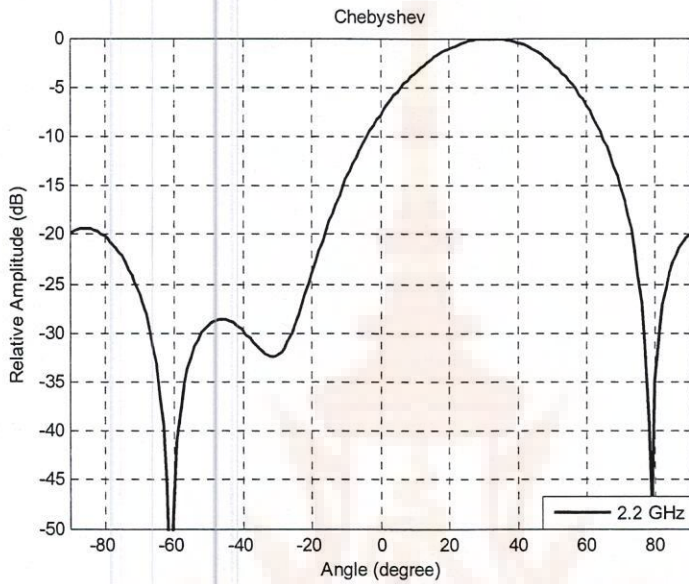
เมื่อนำไปแทนค่าในสมการที่ 2.20 จะได้

$$x = x_0 \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda} d \sin \left(a \tan \left(\frac{u_1}{u_2} \right) - \phi_0 \right) / 2 \right)$$

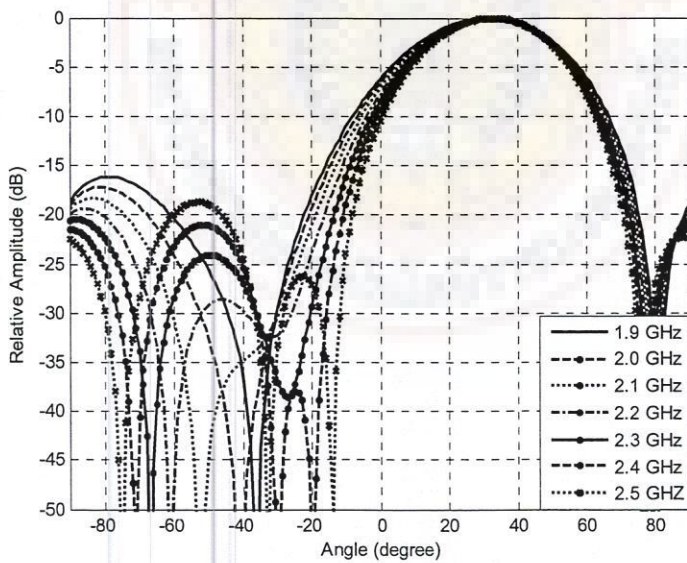
หรือ

$$x = x_0 \cos \left(\pi \sin \left(a \tan \left(\frac{u_1}{u_2} \right) - \phi_0 \right) / 2 \right) \quad (2.23)$$

จากการจำลองระบบสายอากาศแ่งในคอมพิวเตอร์หัวข้อที่แล้ว แต่ทำการเปลี่ยนมาใช้ฟังก์ชัน H แบบเชบิเชฟแทนในหัวข้อนี้ และกำหนดให้ $SLL=30$ dB จะได้แบบรูปการแผ่พลังงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.19 และ 2.20



รูปที่ 2.19 แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อใช้ฟังก์ชันเชบิเชฟที่ความถี่ 2.2 GHz
เมื่อทิศของพวยคลื่นหลักชี้ที่มุม $\phi_0 = 30^\circ$



รูปที่ 2.20 แบบรูปการแผ่พลังงานเมื่อใช้ฟังก์ชันเชบิเชฟที่ความถี่ 1.9-2.5 GHz
เมื่อทิศของพวยคลื่นหลักชี้ที่มุม $\phi_0 = 30^\circ$

เปรียบเทียบผลการจำลองจากรูปที่ 2.15 กับ 2.19 และรูปที่ 2.16 กับ 2.20 จะเห็นได้ว่าระดับของพู่ข้างในรูปที่ 2.19 มีระดับต่ำกว่าในรูปที่ 2.15 เช่นเดียวกับ รูปที่ 2.20 ก็มีระดับพู่ข้างต่ำกว่าในรูปที่ 2.16 เช่นกัน

2.5.3 การก่อรูปลำคลื่นหลายลำคลื่นด้วยการประมวลผลเชิงตำแหน่งเพียงอย่างเดียว

ในการก่อรูปลำคลื่นของระบบสายอากาศเก่งนั้น เราสามารถก่อรูปลำคลื่นไปในทิศทางที่เราต้องการได้ โดยอาจก่อรูปลำคลื่นเพียงลำคลื่นเดียว หรือหลายลำคลื่นในเวลาเดียวกันก็ได้ การก่อรูปลำคลื่นแบบหลายลำคลื่นนั้นมีประโยชน์มากสำหรับการใช้งานภายในอาคาร ตัวอย่างเช่น ในโรงพยาบาล ซึ่งจะมีบริเวณ หรือห้องบางห้องที่ไม่จำเป็นต้องใช้งาน เนื่องจากสัญญาณอาจไปรบกวนการทำงานของแพทย์ เช่น ห้องผ่าตัด หรือห้องเอ็กซเรย์ เป็นต้น ซึ่งในระบบโดยทั่วไปการแผ่พลังงานของสัญญาณจะมีลักษณะเป็นแบบรอบทิศทางในระนาบเดียว ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานโดยไม่จำเป็นไปในบริเวณที่ไม่ต้องการ การก่อรูปลำคลื่นหลายลำคลื่นไปในเฉพาะบริเวณที่ต้องการจึงทำให้ประหยัดพลังงาน

การก่อรูปลำคลื่นในหลายทิศทางนั้นสามารถทำได้โดยนำฟังก์ชัน H บนระนาบ $u_1 - u_2$ ในแต่ละทิศทางมารวมกันดังนี้

$$H(u_1, u_2) = H_{\theta_1}(u_1, u_2) + H_{\theta_2}(u_1, u_2) + \dots + H_{\theta_L}(u_1, u_2) \quad (2.24)$$

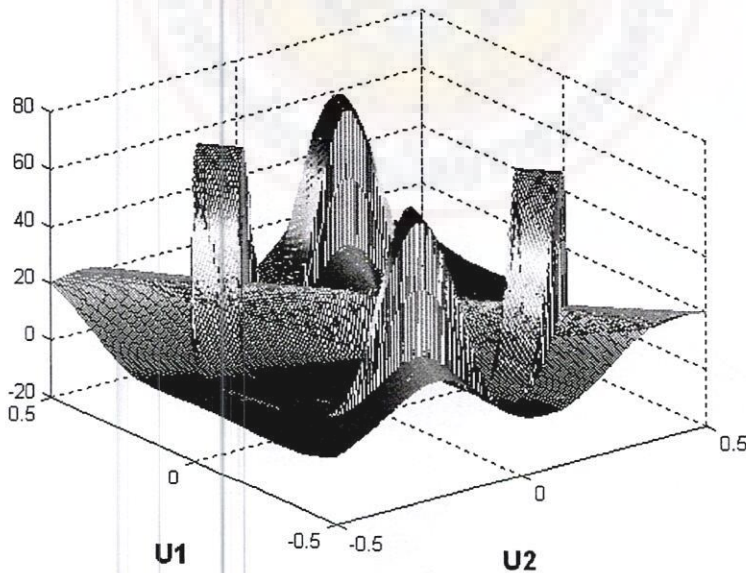
เมื่อ $H_{\theta_1}(u_1, u_2), H_{\theta_2}(u_1, u_2), \dots, H_{\theta_L}(u_1, u_2)$ แทนแบบรูปการแผ่พลังงานไปใน L ทิศทาง ตัวอย่างของค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักที่คำนวณได้เมื่อต้องการก่อรูปลำคลื่นใน 2 ทิศทางมีดังนี้ กำหนดให้ระบบสายอากาศเก่งสามารถก่อรูปลำคลื่นออกไปใน 2 ทิศทาง คือ มุม -50° และมุม 65° ระดับพู่ข้าง 30 dB โดยใช้สายอากาศแถวลำดับขนาด 6×6 ที่ความถี่ 1.8 GHz ถึง 2.4 GHz สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักของสายอากาศทั้ง 36 ต้นได้ดังตารางที่ 2.3 และเราสามารถแสดงฟังก์ชัน H โดยใช้ฟังก์ชันเชบีเชฟแบบ 2 ลำคลื่นในระนาบของ $u_1 - u_2$ รวมทั้งแบบรูปการแผ่พลังงานของระบบสายอากาศเก่งได้ดังรูปที่ 2.21 และ 2.22 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.3 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักของสายอากาศแถวลำดับ 6×6 เมื่อกำหนดให้ก่อรูปลำคลื่นไปยัง -50° และมุม 65°

สายอากาศต้นที่	ค่าการลดทอนของสายอากาศ (dB)
15,17,20,22	0
3,4,8,16,21,29,23,34	4
1,5,32,36	8
2,9,28,35	10
12,25	16
10,18,19,27	18
6,11,26,31	20
4,7,30,33,	28
13,24	32

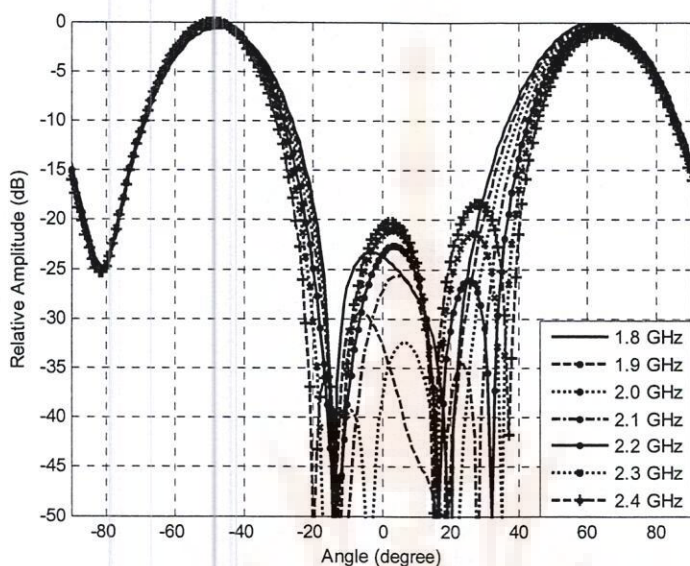
รูปที่ 2.21 เป็นรูปฟังก์ชัน H โดยใช้ฟังก์ชันเซบีเชฟในการก่อรูปลำคลื่นบนในระนาบ $u_1 - u_2$ ในทิศทางมุม -50° และ 65° โดยแทนสมการของ H ได้คือ

$$H(u_1, u_2) = H_{-50^\circ}(u_1, u_2) + H_{65^\circ}(u_1, u_2) \quad (2.25)$$



รูปที่ 2.21 ฟังก์ชัน H บนระนาบ $u_1 - u_2$ ที่มุม -50° และ 65°

ส่วนในรูปที่ 2.22 แสดงให้เห็นถึงแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ ในทิศทางหลัก ซึ่งที่มุม -50° และ 65° ที่ความถี่ 1.8 -2.4 GHz



รูปที่ 2.22 แบบรูปการแผ่พลังงานของระบบสายอากาศแก่งขนาด 6×6 ที่ความถี่ 1.8-2.4 GHz ในทิศทางมุม -50° และ 65°

วิธีการก่อรูปลำคลื่นที่ใช้งานในแถบกว้างด้วยวิธีการประมวลผลเชิงตำแหน่งเพียงอย่างเดียว โดยการประยุกต์ใช้ผลการแปลงฟูเรียร์ผกผันของสัญญาณเวลาดิสครีตนั้น ให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักที่เป็นจำนวนจริง โดยในทางปฏิบัติสามารถใช้ตัวขยาย หรือตัวลดทอนสัญญาณเพื่อมาถ่วงน้ำหนักได้ โดยแบบรูปการแผ่พลังงานถูกกำหนดด้วยฟังก์ชันซิงค์ที่ให้ระดับของพูข้างก่อนข้างสูง จึงได้มีการเปลี่ยนมาใช้ฟังก์ชันเซบิเซฟแทนเพื่อให้ได้ระดับของพูข้างที่ดีขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถก่อรูปลำคลื่นไปได้ในหลายทิศทางในเวลาเดียวกัน โดยการนำฟังก์ชันของแบบรูปที่ต้องการในแต่ละทิศทางมารวมกันนั่นเอง

2.6 การวิเคราะห์และปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักสำหรับการก่อรูปลำคลื่นเดี่ยว

ในส่วนนี้จะนำเสนอแนวคิด และความเป็นไปได้ในการปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก เพื่อให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักที่ได้มีค่าเป็นจำนวนเต็ม และมีช่วงในการถ่วงน้ำหนักที่แคบลงกว่าเดิม นั่นคือ มีค่าสูงสุดของการถ่วงน้ำหนักที่ลดต่ำลง ซึ่งจะมีประโยชน์ในการนำไปใช้งานในระบบจริง คือ ไม่ว่าระบบจะใช้ตัวขยาย หรือตัวลดทอนก็ไม่จำเป็นต้องสร้างตัวขยาย หรือตัวลดทอน ที่ให้ค่าช่วงสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักที่กว้างซึ่งเป็นความยุ่งยากในการสร้าง และต้นทุนในการผลิตก็มีราคาสูง นอกจากนี้ด้วยค่าสัมประสิทธิ์ที่เป็นจำนวนเต็มก็ทำให้การปรับค่าการใช้งานของสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักง่ายขึ้นด้วย แต่อย่างไรก็ตามในการศึกษาแนวคิด และความเป็นไปได้ในการปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก ค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักที่ได้ปรับแต่งใหม่นั้นยังคงให้แบบรูปการแผ่พลังงานที่มีคุณสมบัติเหมือน หรือดีกว่าเดิม เช่น พูคลื่นหลักชี้ทิศในทิศทางที่ต้องการเหมือนเดิม มีระดับพู่ข้างต่ำ มีความกว้างของลำคลื่นหลักต่ำ เป็นต้น

2.6.1 การปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก

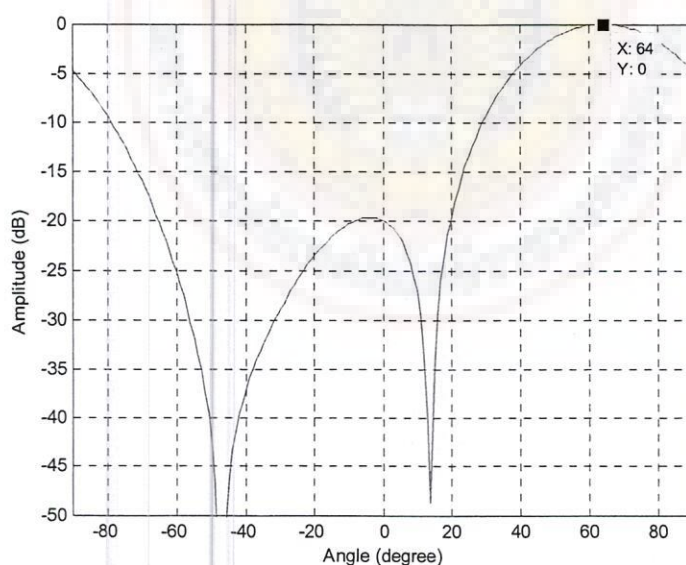
ในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักของระบบสายอากาศเก่ง ซึ่งใช้วิธีการประมวลผลเชิงตำแหน่งเพียงอย่างเดียว ร่วมการใช้ฟังก์ชันเซบีเซฟเพื่อลดระดับพู่ข้างของแบบรูปการแผ่พลังงาน ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการจำลองแบบของระบบสายอากาศเก่งดังกล่าวด้วยโปรแกรม แมทแลบในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก และแบบรูปการแผ่พลังงาน และกำหนดค่าต่างๆของระบบสายอากาศเก่งดังนี้ ระบบสายอากาศเก่งที่จำลองแบบมีขนาด 4×4 ทำงานในช่วงความถี่ 1.9 GHz -2.4 GHz ที่ความถี่สูงสุดของแถบความถี่เท่ากับ 3 GHz ระยะห่างระหว่างสายอากาศเท่ากันใน 2 มิติ คือ 50 mm. และระดับของพู่ข้างเท่ากับ -30 dB และกำหนดให้ทิศทางการเข้ามาของสัญญาณที่ต้องการที่มุม 65°

เมื่อทำการประมวลผลตามที่ได้กำหนดไว้ ทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักของสายอากาศแต่ละตัว ดังตารางที่ 2.4 และได้แบบรูปการแผ่พลังงานดังรูปที่ 2.23

ตารางที่ 2.4 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักของสายอากาศแถวลำดับ ขนาด 4×4

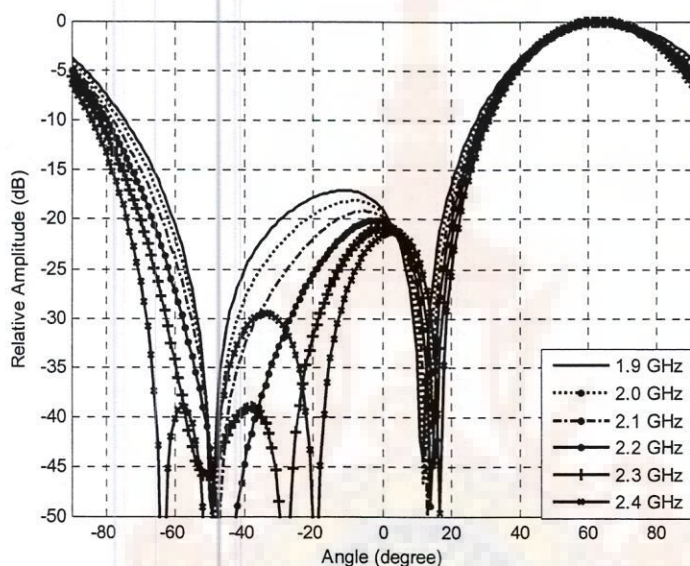
สายอากาศตัวที่	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก (dB)	สายอากาศตัวที่	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก (dB)
1	22.0619*	9	3.8866*
2	7.4221*	10	0
3	4.6020	11	42.2949
4	18.1778	12	5.1226*
5	5.1226*	13	18.1778
6	42.2949	14	4.6020
7	0	15	7.4221*
8	3.8866*	16	22.0619*

จากตารางจะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักส่วนใหญ่จะไม่เป็นเลขจำนวนเต็ม จึงยากแก่การนำไปใช้งานจริงในทางปฏิบัติ และช่วงของการถ่วงน้ำหนักของค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักมีค่าประมาณระหว่าง 0-42 dB ซึ่งจะเห็นว่าเป็นช่วงที่ค่อนข้างกว้าง และเมื่อนำไปถ่วงน้ำหนักที่สายอากาศทั้ง 16 ตัว สามารถแสดงแบบรูปการแผ่พลังงานได้ดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 แบบรูปการแผ่พลังงานในทิศทางการเข้ามาของสัญญาณที่มุม 65° ที่ความถี่ 2.15 GHz

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาในรูปที่ 2.24 จะเห็นว่าระดับพู่ข้าง และทิศทางของมุมที่เข้ามานั้นไม่เป็นไปตามที่กำหนด คือ ระดับพู่ข้างอยู่ที่ประมาณ -19 dB และทิศทางของพู่คลื่นหลักชี้ไปที่มุม 64° แสดงให้เห็นถึงค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดของค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักเดิม ซึ่งผลการจำลองแบบรูปการแผ่พลังงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.24 แถบในแถบความถี่ตั้งแต่ 1.9 GHz ถึง 2.4 GHz ให้ผลที่ไม่แตกต่างไปจากเดิมที่ได้กล่าวไว้



รูปที่ 2.24 แบบรูปการแผ่พลังงานในทิศทางการเข้ามาของสัญญาณที่มุม 65° ที่ความถี่ 1.9-2.4 GHz

ดังนั้นจึงทำการปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักโดยปรับแต่งแบบจำลองโปรแกรม เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักใหม่ ให้มีช่วงของการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักที่น้อยลง และกำหนดให้ค่าที่ได้เป็นเลขจำนวนเต็ม โดยมีลำดับขั้นตอนของการปรับแต่งค่าใหม่ ดังนี้

1. ประมาณค่าจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักชุดเดิมเป็นเลขจำนวนเต็ม
2. ค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักที่ได้ใหม่จะต้องมีค่าอยู่ระหว่าง 0-24 dB
3. กำหนดช่วงในการแปรเปลี่ยนค่า โดยให้มากกว่า และน้อยกว่าค่าเดิม 2 dB และยังคงอยู่ในช่วง 0-24 dB เหมือนเดิม
4. ทำการจำลองโปรแกรม โดยให้ความสนใจกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักที่ให้แบบรูปการแผ่พลังงานในทิศทางที่กำหนดเท่านั้น

ผลจากการจำลองปรากฏว่ามีชุดค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักที่ให้แบบรูปในทิศทางที่กำหนดจำนวน 8,919 ชุด และแบบรูปที่ไม่ให้ทิศทางตามที่กำหนดจำนวน 37,956 ชุด โดยตัวอย่างของค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก ที่ปรับแต่งใหม่ทั้ง 16 ค่า ให้ผลดังตารางที่ 2.5

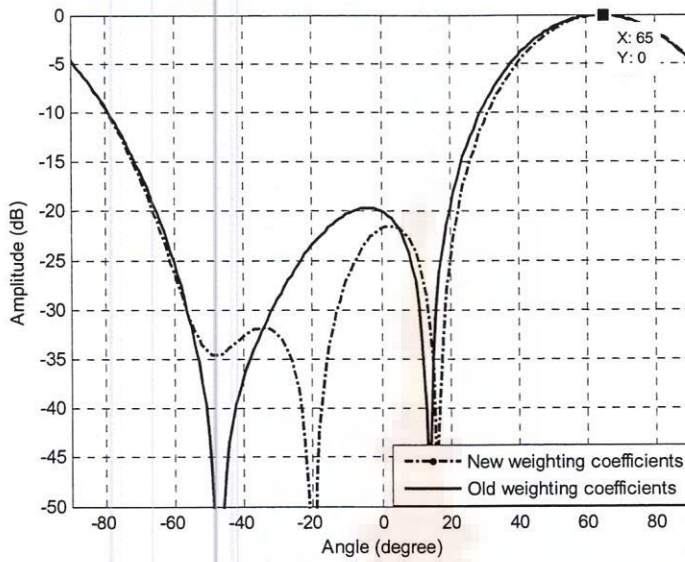
ตารางที่ 2.5 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักของสายอากาศแถวที่ได้จากการปรับแต่งค่าใหม่

สายอากาศตัวที่	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก (dB)	สายอากาศตัวที่	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก (dB)
1	21*	9	3*
2	7*	10	0
3	4	11	24
4	20	12	7*
5	7*	13	20
6	24	14	4
7	0	15	7*
8	3*	16	21*

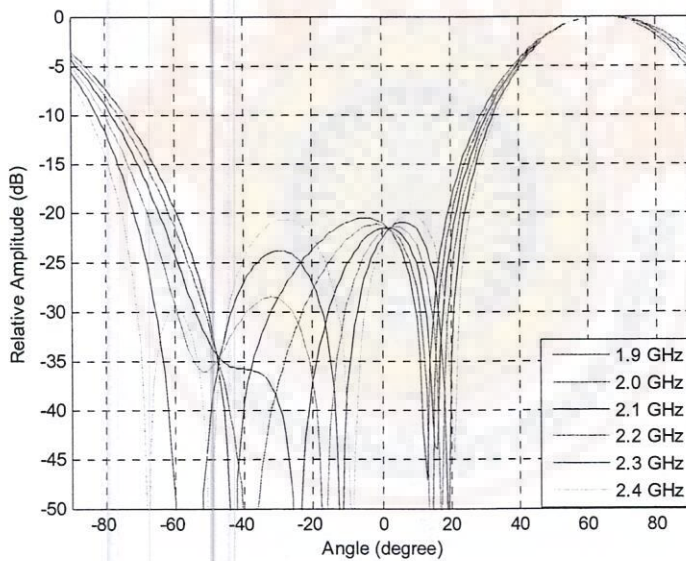
จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักของสายอากาศทั้งหมดมีค่าตั้งแต่ 0-24 dB เท่านั้น ซึ่งช่วงการถ่วงน้ำหนักน้อยกว่าแบบเดิมถึง 18 dB โดยแบบเดิมนั้นมีช่วงการถ่วงน้ำหนักประมาณระหว่าง 0-42 dB และค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักยังให้แบบรูปการแผ่พลังงานที่ดีกว่าแบบเดิม นั่นคือ ลำคลื่นหลักชี้ทิศได้ตรงกับทิศทางที่ต้องการ ระดับของพูข้างลดลง รวมทั้งความกว้างของลำคลื่นหลักก็ลดลงด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.25

จากรูปที่ 2.26 แสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักที่แถบความถี่กว้าง 1.9 -2.4 GHz ก็ยังคงรักษาคุณสมบัติของแบบรูปการแผ่พลังงานได้ดีเหมือนเดิม

ดังนั้น ในการวิจัยต่อไป จึงสนใจที่จะศึกษา วิเคราะห์ และหาวิธีปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักที่ได้จากการประมวลผลสัญญาณเชิงตำแหน่งเพียงอย่างเดียวของระบบสายอากาศเก่งที่ใช้งานในแถบความถี่กว้าง เพื่อให้ช่วงการทำงานของค่าการถ่วงน้ำหนักแคบลง แต่ยังคงรักษาคุณสมบัติของแบบรูปการแผ่พลังงานของระบบได้เหมือนเดิม



รูปที่ 2.25 การเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานในทิศทางกรเข้าของสัญญาณที่มุม 65° ที่ความถี่ 2.15 GHz ที่ได้จากการปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักใหม่



รูปที่ 2.26 แบบรูปการแผ่พลังงานในทิศทางกรเข้าของสัญญาณที่มุม 65° ที่ความถี่ 1.9-2.4 GHz ที่ได้จากการปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักใหม่

2.7 กล่าวสรุป

จากการทดลองจำลองแบบด้วยโปรแกรมเมทแลบจะเห็นได้ว่า เราสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักที่เป็นจำนวนเต็ม และมีช่วงของการถ่วงน้ำหนักก็แคบลงกว่าเดิมอย่างเห็นได้ชัด ทำให้เมื่อนำไปสร้างเป็นตัวถ่วงน้ำหนักจะทำได้ง่ายขึ้น และต้นทุนในการผลิตก็ต่ำลง อีกทั้งยังให้ผลของแบบรูปการแผ่พลังงานที่ยังคงรักษาคุณสมบัติของแบบเดิม ไม่ว่าจะเป็นทิศทางของลำคลื่นหลัก ความกว้างของลำคลื่นหลัก และระดับของพูข้าง ดังนั้นการวิเคราะห์ และปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การแผ่พลังงานใหม่จึงส่งผลดีต่อประสิทธิภาพของระบบสายอากาศเก่งที่ใช้งานกับแถบความถี่กว้างต่อไป



บทที่ 3

การวิเคราะห์และปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักของตัวก่อรูปลาคลิ้น แบบหลายลาคลิ้นในแถบความถี่กว้าง

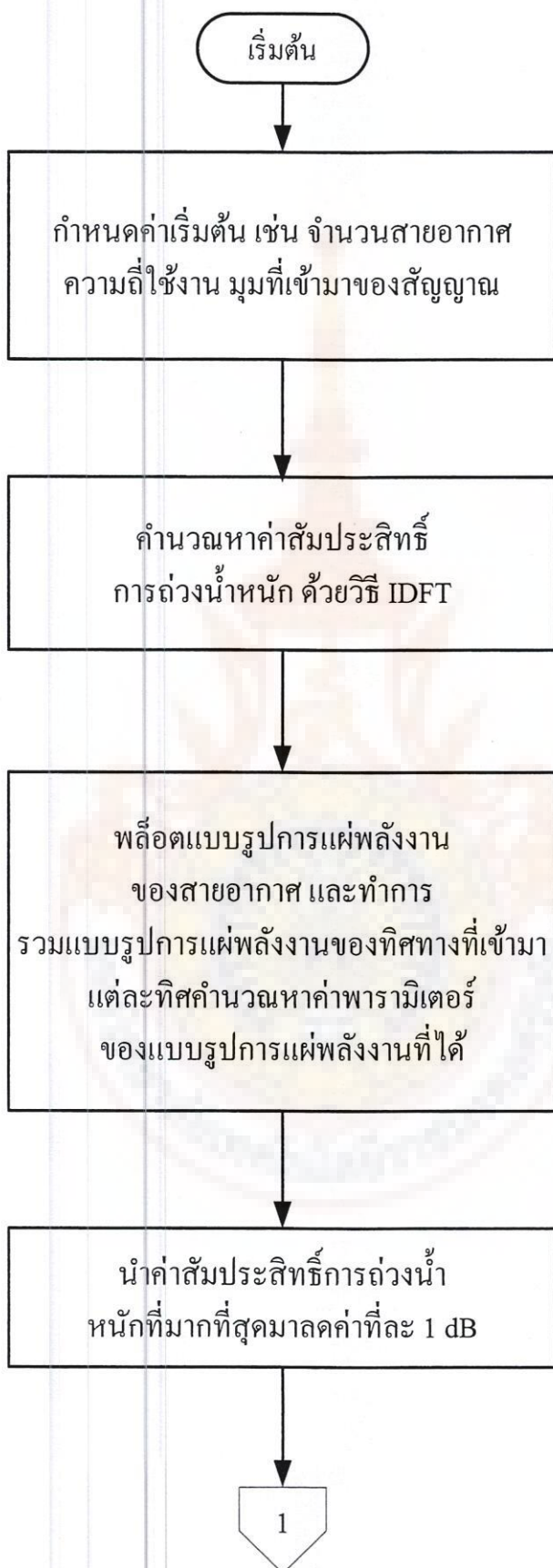
3.1 กล่าวนำ

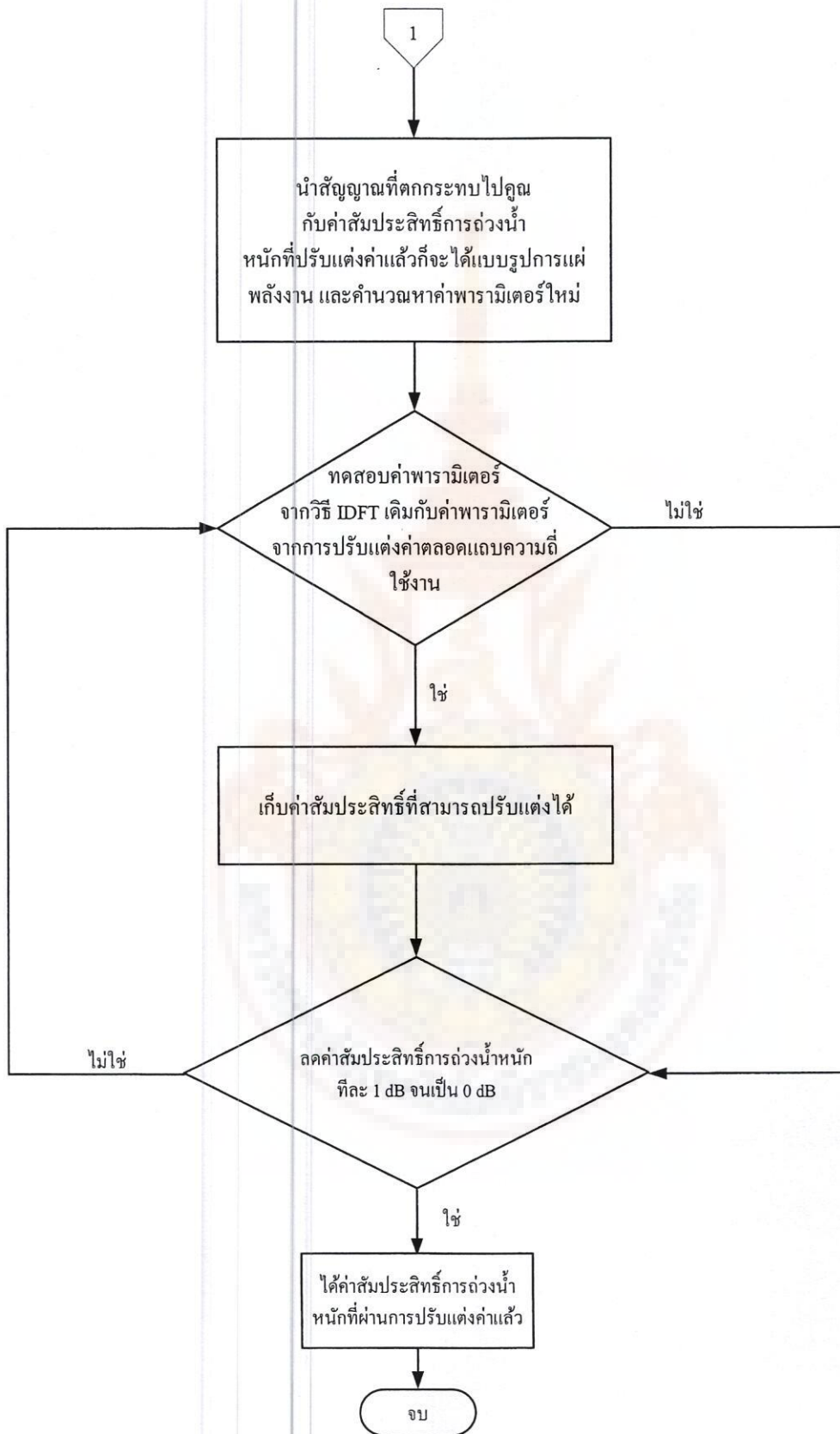
บทนี้จะนำเสนอแนวคิด และความเป็นไปได้ในการปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก เพื่อให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักที่ได้ ให้มีค่าเป็นจำนวนเต็ม และได้ค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศเป็นไปตามเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้ เช่น มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักที่สูงสุดมีค่าลดลง นั่นคือ ซึ่งจะมีประโยชน์ในการนำไปใช้งานในระบบจริง คือ ไม่ว่าจะระบบจะใช้ตัวขยาย หรือ ตัวลดทอนก็ไม่จำเป็นต้องสร้างตัวขยาย หรือตัวลดทอน ที่ให้ค่าช่วงสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักที่กว้างซึ่งเป็นความยุ่งยากในการสร้าง และต้นทุนในการผลิตก็มีราคาสูง นอกจากนี้ด้วยค่าสัมประสิทธิ์ที่เป็นจำนวนเต็มก็ทำให้การปรับค่าการใช้งานของสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักง่ายขึ้นด้วย นอกจากนี้ค่าพารามิเตอร์ เช่น แบบรูปการแผ่พลังงานที่มีคุณสมบัติเหมือน หรือดีกว่าเดิม เช่น พูลคลื่นหลักซิกซ์ทิสในทิศทางที่ต้องการเหมือนเดิม มีระดับพูซังต่ำ มีความกว้างของลาคลิ้นหลักต่ำ เป็นต้น

3.2 การปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก

ในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักของระบบสายอากาศแ่ง ซึ่งใช้วิธีการประมวลผลเชิงตำแหน่งเพียงอย่างเดียว ร่วมการใช้ฟังก์ชันเซบีเซฟเพื่อลดระดับพูซังของแบบรูปการแผ่พลังงาน ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการจำลองแบบของระบบสายอากาศแ่งดังกล่าวด้วยโปรแกรมเมทแลบ กำหนดค่าต่างๆของระบบสายอากาศแ่งดังนี้ ระบบสายอากาศแ่งที่จำลองแบบมีขนาดตั้งแต่ 5×5 ถึง 8×8 องค์ประกอบ และทำงานในช่วงความถี่ 1.8 GHz -2.5 GHz มี Fraction Bandwidth เท่ากับ 32.56% ซึ่งเป็นช่วงแถบความถี่กว้าง และมีความถี่สูงสุดของแถบความถี่เท่ากับ 3 GHz ระยะห่างระหว่างสายอากาศเท่ากันใน 2 มิติ คือ 50 mm.

ต่อไปทำการออกแบบโปรแกรมการลดน้ำหนักค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก โดยมีขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 3.1





รูปที่ 3.1 แผนภาพขั้นตอนการปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก

จากรูปที่ 3.1 กำหนดค่าเริ่มต้นของโปรแกรม เช่น ค่าความถี่ใช้งาน จำนวนสายอากาศ มุมของคลื่นที่เข้ามา ค่าพารามิเตอร์ที่เป็นเงื่อนไขของสายอากาศ เช่น ค่าความเบี่ยงเบนของทิศทางของลำคลื่นหลัก ค่าเบี่ยงเบนของความกว้างของลำคลื่น และค่าสูงสุดของระดับลำคลื่นย่อย หลังจากนั้นก็นำค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักด้วยวิธี IDFT และจึงหาแบบรูปการแผ่พลังงานด้วยการนำสัญญาณที่ตกกระทบไปคูณกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก และคำนวณหาค่าระดับลำคลื่นย่อยที่มากที่สุด ความกว้างลำคลื่นหลัก เพื่อไปเป็นค่าอ้างอิง

ต่อไปให้กำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก ที่ได้จากวิธีการประมวลผลสัญญาณเชิงตำแหน่งเพียงอย่างเดียวคือ $W_o = \{w_{o,1}, w_{o,2}, \dots, w_{o,N}\} = \{w_{o,i}\}$ เมื่อ $i = 1, 2, \dots, N$ และ N เป็นจำนวนของสายอากาศ ไปประมาณค่าเป็นจำนวนเต็ม ซึ่งจะกำหนดได้เมตริกซ์ใหม่เป็น $W_r = \{w_{r,1}, w_{r,2}, \dots, w_{r,N}\} = \{w_{r,i}\}$ ต่อไปทำการกำหนดเงื่อนไขของตัวแปรตามที่ต้องควบคุม คือค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักถูกปรับแต่ง นั่นคือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักสูงสุดที่ต้องการ (w_o) ทิศทางของลำคลื่นหลัก (ϕ_o) ระดับพหุคลื่นรอง (MLL_o) และค่าความกว้างของลำคลื่น (δ_o) ต่อจากนั้นให้ดำเนินตามกระบวนการดังนี้

- (1) กำหนดให้ค่าสูงสุดของสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก ซึ่งหาได้จากสมการ

$$w_{\max}^{(k)} = \max_{i=1}^N \{w_{r,i}\} \quad (5)$$

เมื่อ i แทนจำนวนครั้งของการวนรอบ

- (2) ลดค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักที่มากที่สุด ($w_{\max}^{(k)}$) ด้วยช่วงของการลดค่า (Step size: Δw) โดยที่ $\Delta w = 0$ และเป็นจำนวนเต็ม ดังนั้น

$$w_{\max,j}^{(k)} = \left\| w_{\max}^{(k)} - \Delta w \right\| \quad (6)$$

เมื่อ $j = 1, 2, 3, \dots$ แล้วแทนค่า $w_{\max,j}^{(k)}$ แทนที่ $w_{\max}^{(k)}$ ในเซตของ W_r นั่นคือ $w_{\max,j}^{(k)} \Rightarrow w_{\max}^{(k)}$

- (3) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักที่ได้คูณกับค่า Steering vector ดังสมการ

$$y_j^{(k)} = \sum w_r e^{j(2\pi f/c)(d_1 p \sin \phi + d_2 q \cos \phi)} \quad (7)$$

เมื่อ (p, q) แทนตำแหน่งของสายอากาศแต่ละองค์ประกอบ

(4) นำแบบรูปการแผ่พลังงานที่ได้ตามสมการที่ 7 มาทำการตรวจสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน เพื่อให้เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ โดยที่ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักที่มากที่สุด คือ w_{\max}^k ทิศทางของคลื่น 2 ลำคลื่นหลัก คือ $\phi_{r_1}^{(k)}$ และ $\phi_{r_2}^{(k)}$ ตามลำดับ ขนาดของระดับพุดคลื่นรอง $MLL_r^{(k)}$ และความกว้างของลำคลื่นทั้ง 2 คือ โดยมีเงื่อนไขดังนี้

$$w_{\max}^k \leq w_0 \quad (8)$$

$$\phi_0 - \Delta\phi \leq \phi_{r_1}^{(k)} \leq \phi_0 - \Delta\phi \quad (9)$$

$$\phi_0 - \Delta\phi \leq \phi_{r_2}^{(k)} \leq \phi_0 - \Delta\phi \quad (10)$$

$$MLL_r^{(k)} \leq MLL_{\max} \quad (10)$$

$$\delta_{r_1}^{(k)} \leq \delta_0 + \Delta\delta \quad \text{และ} \quad \delta_{r_2}^{(k)} \leq \delta_0 + \Delta\delta \quad (11)$$

เมื่อ w_0 คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักมากที่สุดที่ต้องการ

$\Delta\phi$ คือ ค่าเบี่ยงเบนของทิศทางของลำคลื่นหลัก

MLL_{\max} คือ ค่าของระดับลำคลื่นรองที่มากที่สุด

$\Delta\delta$ คือ ค่าความกว้างของลำคลื่นหลัก

(5) ทำซ้ำจากขั้นตอนที่ 1 ถึง 4 จนกว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักทั้งหมดจะเป็น 0 หรือตามที่เรากำหนดค่า w_0 เราจะได้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักที่ปรับแต่งเรียบร้อยแล้วตามที่ต้องการ และมีแบบรูปการแผ่พลังงานที่ได้กำหนดเงื่อนไขไว้

บทที่ 4

ผลการจำลองระบบด้วยวิธีการปรับแต่งสำหรับแผนการถ่วงน้ำหนักของตัวก่อ รูปลำคลื่นแบบหลายลำคลื่น

4.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะนำเสนอผลการจำลองโปรแกรมเมทแลป โดยวิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักจากวิธี IDFT เปรียบเทียบเทียบกับ วิธีการปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักที่ได้พัฒนา และปรับปรุงขึ้นมาใหม่

4.2 ผลการจำลองโปรแกรม

โครงสร้างของระบบสายอากาศเก่งที่จำลองขึ้นมา ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน ได้แก่ สายอากาศ ซึ่งเป็นสายอากาศแถวลำดับเชิงระนาบ ที่สามารถรับหรือส่งสัญญาณได้ในช่วงความถี่ 1.9-2.5 GHz และส่วนที่สองคือ ระบบประมวลผลสัญญาณ โดยในการประมวลผลสัญญาณของระบบสายอากาศเก่งต้นแบบนี้จะใช้วิธีประมวลผลเชิงตำแหน่งเพียงอย่างเดียว ร่วมกับการลดระดับพูข้างด้วยฟังก์ชันเซบีเซฟ นอกจากนี้ โปรแกรมระบบสายอากาศเก่งต้นแบบยังถูกออกแบบให้สามารถก่อรูปลำคลื่นได้ 2 ลำคลื่นพร้อมกัน ได้อีกด้วย และค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักที่คำนวณได้จากวิธีการประมวลผลดังกล่าวเป็นค่าจริง นำมาทำการปรับแต่งตามขั้นตอนที่ได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 3 โดยเงื่อนไขของการปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก กำหนดดังนี้ คือ

กรณีที่ 1 สายอากาศแถวลำดับเชิงระนาบมีขนาด 5×5 และกำหนดให้

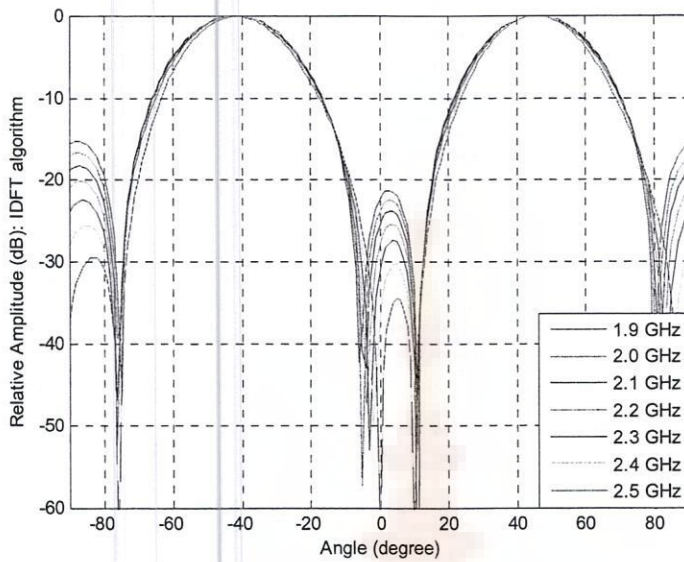
1. ค่าของมุมที่เข้ามาคือ ϕ_{01} เท่ากับ -40 องศา และ ϕ_{02} เท่ากับ 45 องศา
2. ค่าเบี่ยงเบนของมุมทั้งสองไม่เกิน 5 องศา ($\Delta\phi \leq 5^\circ$)
3. ค่าเบี่ยงเบนของลำคลื่นรองไม่เกิน 5 dB ($\Delta MLL \leq 5$ dB)
4. ค่าความกว้างของลำคลื่นไม่เกิน 5 องศา ($\Delta\Theta \leq 5^\circ$)

ผลจากการใช้โปรแกรมที่ได้ออกแบบไว้ปรากฏว่าสามารถลดค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักจาก 37 dB เหลือเพียง 18 dB ซึ่งลดได้ถึง 19 dB และเราได้เซต ค่าตอบของค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก ถึง 1009 เซต ที่เป็นไปตามเงื่อนไขที่เรากำหนด ส่วนเซตของค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักของสายอากาศทั้ง 25 ต้น ซึ่งเป็นเซตที่ลดค่าสัมประสิทธิ์ได้มากที่สุด และยังเป็นไปตามเงื่อนไขที่เรากำหนด แสดงค่าได้ดังตารางที่ 4.1 ส่วนในรูปที่ 4.1 และ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งที่มุม -40 องศา และ 45 องศา แบบวิธี IDFT

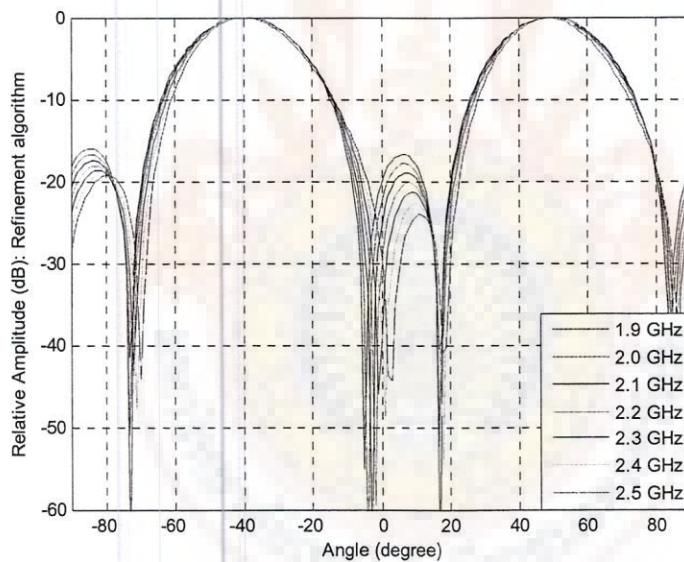
และวิธีการปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักตามลำดับ ทั้งนี้จะเห็นว่าแบบรูปการแผ่พลังงานที่ได้จากวิธีการปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักเป็นไปตามเงื่อนไขที่เรากำหนด

ตารางที่ 4.1 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักโดยวิธี IDFT และวิธีการปรับแต่งสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก จำนวนสายอากาศแถวลำดับ 25 ต้น

ลำดับของสายอากาศ	วิธี IDFT	วิธีการปรับแต่ง
1,25	12	12
2,24	24	18
3,23	10	10
4,22	28	18
5,21	11	11
6,20	20	18
7,19	17	17
8,18	14	14
9,17	17	17
10,16	37	18
11,15	9	9
12,14	21	18
13	0	0



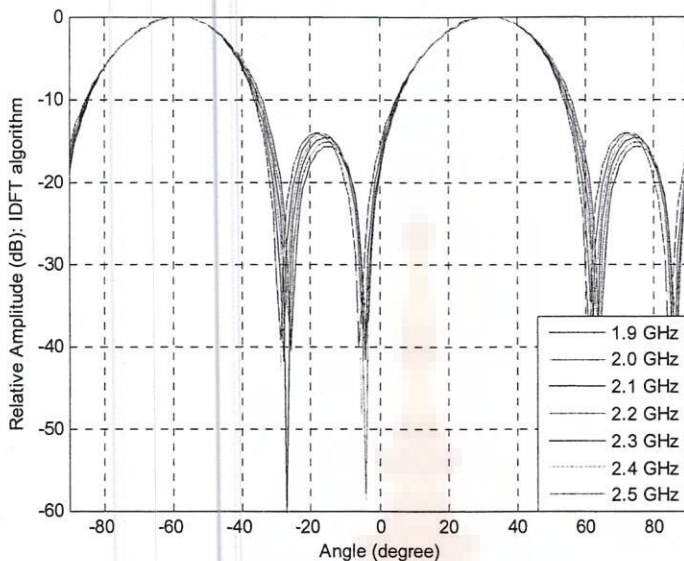
รูปที่ 4.1 แบบรูปการแผ่พลังงานที่มุม -40 และ 45 องศา โดยวิธี IDFT



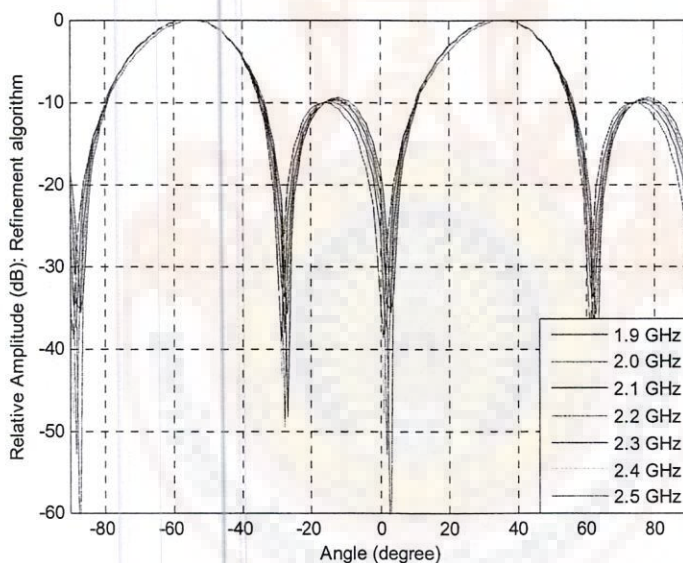
รูปที่ 4.2 แบบรูปการแผ่พลังงานที่มุม -40 และ 45 องศา โดยวิธีการปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก

กรณีที่ 2 สายอากาศแถวลำดับเชิงระนาบมีขนาด 5×5 และกำหนดให้

1. ค่าของมุมที่เข้ามาคือ ϕ_{01} เท่ากับ -60 องศา และ ϕ_{02} เท่ากับ 30 องศา
2. ค่าเบี่ยงเบนของมุมทั้งสองไม่เกิน 5 องศา ($\Delta\phi \leq 5^\circ$)
3. ค่าเบี่ยงเบนของค่าคลื่นรองไม่เกิน 5 dB ($\Delta MLL \leq 5\text{dB}$)
4. ค่าความกว้างของค่าคลื่นไม่เกิน 5 องศา ($\Delta\theta \leq 5^\circ$)



รูปที่ 4.3 แบบรูปการแผ่พลังงานที่มุม -60 และ 30 องศา โดยวิธี IDFT



รูปที่ 4.4 แบบรูปการแผ่พลังงานที่มุม -60 และ 30 องศา โดยวิธีการปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก

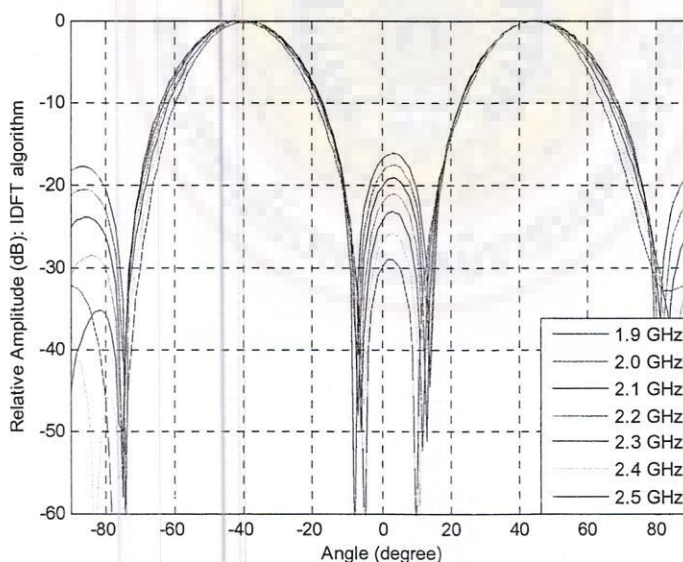
ผลจากการใช้โปรแกรมที่ได้ออกแบบไว้ปรากฏว่าสามารถลดค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักจาก 36 dB เหลือเพียง 13 dB ว่างลดได้ถึง 23 dB และได้เซตคำตอบของค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก ถึง 1231 เซต จากการปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักด้วยวิธีนี้ และเป็นไปตามเงื่อนไขที่เรากำหนด ในรูปที่ 4.3 และ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแก่งที่มุม -60 องศา และ 30 องศา แบบวิธี IDFT และวิธีการปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การ

ถ่วงน้ำหนัก ตามลำดับ ทั้งนี้จะเห็นว่าแบบรูปการแผ่พลังงานที่ได้จากวิธีการปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักเป็นไปตามเงื่อนไขที่เรากำหนด

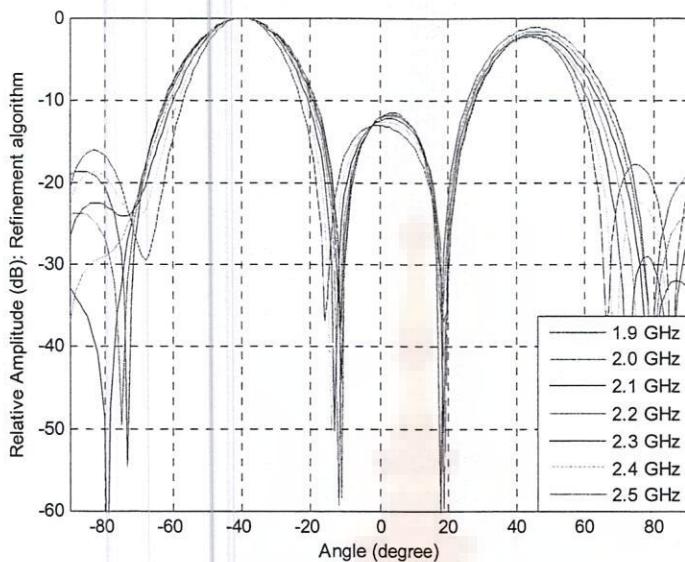
กรณีที่ 3 สายอากาศแถวลำดับเชิงระนาบมีขนาด 6×6 และกำหนดให้

1. ค่าของมุมที่เข้ามาคือ ϕ_{01} เท่ากับ -40 องศา และ ϕ_{02} เท่ากับ 45 องศา
2. ค่าเบี่ยงเบนของมุมทั้งสองไม่เกิน 5 องศา ($\Delta\phi \leq 5^\circ$)
3. ค่าเบี่ยงเบนของลำคลื่นรองไม่เกิน 5 dB ($\Delta MLL \leq 5$ dB)
4. ค่าความกว้างของลำคลื่นไม่เกิน 5 องศา ($\Delta\Theta \leq 5^\circ$)

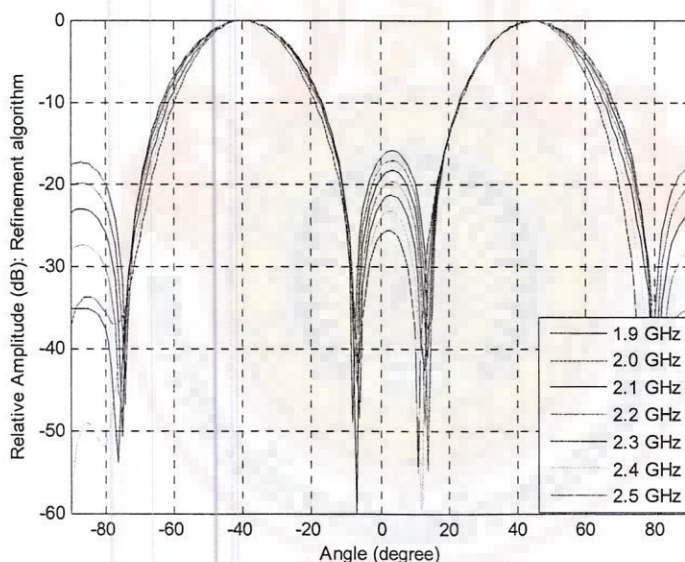
ผลจากการใช้โปรแกรมที่ได้ออกแบบไว้ปรากฏว่าสามารถลดค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักจาก 25 dB เหลือเพียง 5 dB ซึ่งลดได้ถึง 20 dB และยังคงอยู่ในเงื่อนไขที่เรากำหนด แต่จากรูปที่ 4.5 และ 4.6 เปรียบเทียบกันจะเห็นว่า รูปที่ 4.6 จะมีการเปลี่ยนรูปของลำคลื่นในบ้างความถี่ที่แตกต่างไปจากเดิมบ้าง เช่นความลึกของจุดศูนย์ที่ไม่เหมือนรูปเดิม ดังนั้นเราจึงอาจเลือกเซตของคำตอบที่ได้จากวิธีนี้ใหม่ ซึ่งยังคงให้แบบรูปการแผ่พลังงานที่ไม่ผิดเพี้ยนไปจากเดิมมาก โดยในรูปที่ 4.7 เมื่อเลือกเซตคำตอบที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักที่มีค่ามากที่สุดเป็น 20 จะเห็นว่ารูปแบบการแผ่พลังงานไม่เปลี่ยนแปลงไปมากนัก และยังคงคุณสมบัติของแบบรูปการแผ่พลังงานดังที่เราต้องการ



รูปที่ 4.5 แบบรูปการแผ่พลังงานที่มุม -40 และ 45 องศา โดยวิธี IDFT



รูปที่ 4.6 แบบรูปการแผ่พลังงานที่มุม -40 และ 45 องศา โดยวิธีการปรับแต่งค่า
สัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก

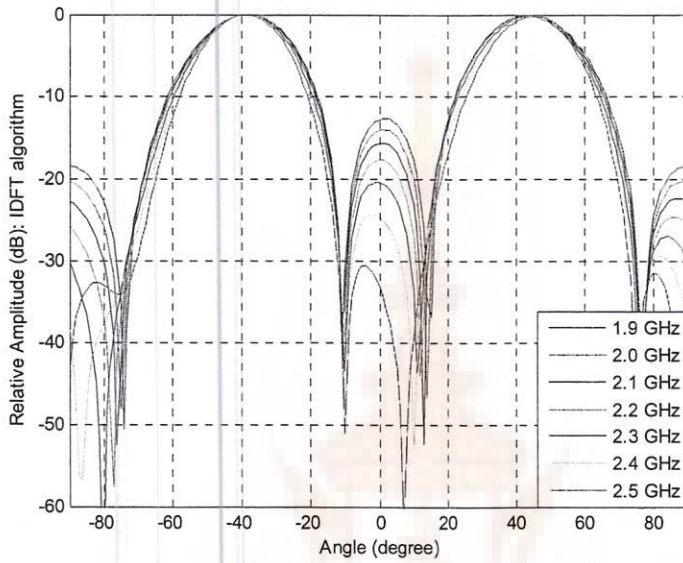


รูปที่ 4.7 แบบรูปการแผ่พลังงานที่มุม -40 และ 45 องศา โดยวิธีการปรับแต่งค่า
สัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักที่มากที่สุดเท่ากับ 20 dB

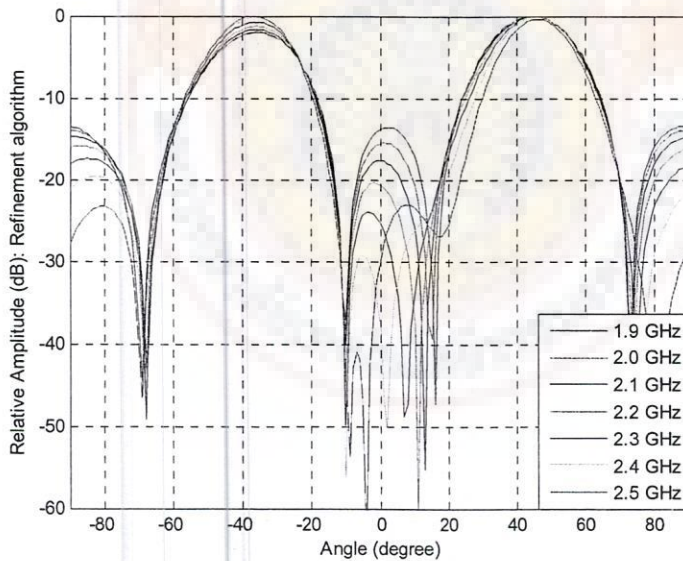
กรณีที่ 4 สายอากาศแถวลำดับเชิงระนาบมีขนาด 7×7 และกำหนดให้

1. ค่าของมุมที่เข้ามาคือ ϕ_{01} เท่ากับ -40 องศา และ ϕ_{02} เท่ากับ 45 องศา
2. ค่าเบี่ยงเบนของมุมทั้งสองไม่เกิน 5 องศา ($\Delta\phi \leq 5^\circ$)
3. ค่าเบี่ยงเบนของค่าคลื่นรองไม่เกิน 5 dB ($\Delta MLL \leq 5$ dB)

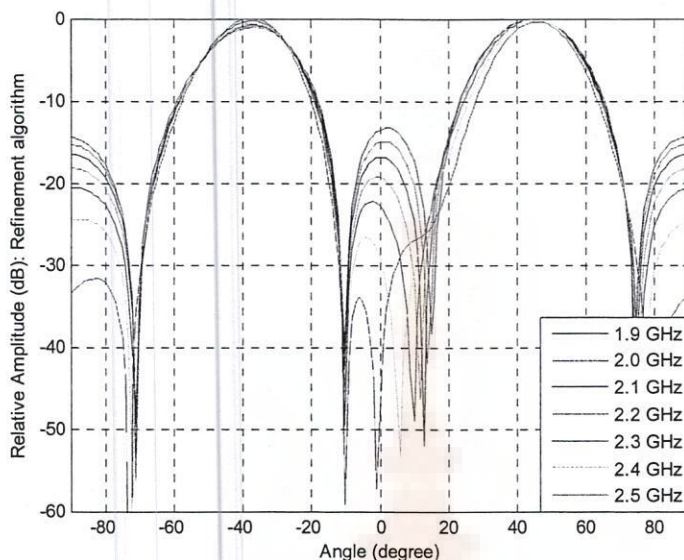
4. ค่าความกว้างของลำคลื่นไม่เกิน 5 องศา ($\Delta\theta \leq 5^\circ$)



รูปที่ 4.8 แบบรูปการแผ่พลังงานที่มุม -60 และ 30 องศา โดยวิธี IDFT



รูปที่ 4.9 แบบรูปการแผ่พลังงานที่มุม -60 และ 30 องศา โดยวิธีการปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก



รูปที่ 4.10 แบบรูปการแผ่พลังงานที่มุม -60 และ 30 องศา โดยวิธีการปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักที่มากที่สุดเท่ากับ 25 dB

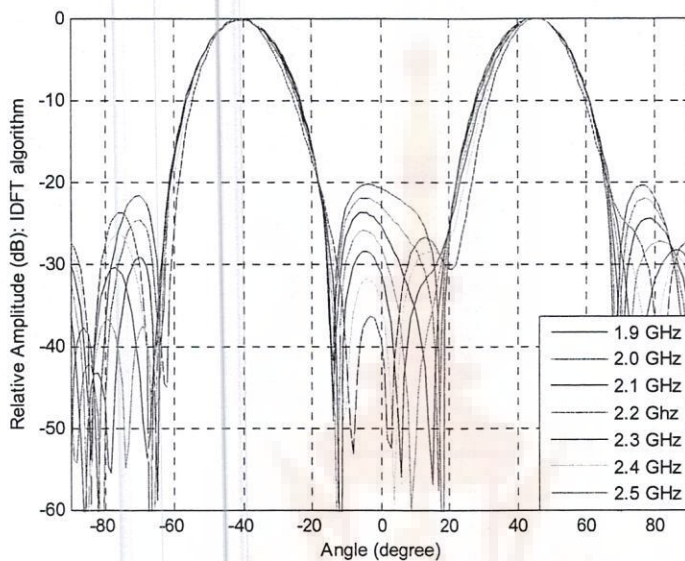
ผลจากการใช้โปรแกรมที่ได้ออกแบบไว้ปรากฏว่าสามารถลดค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักจาก 38 dB เหลือเพียง 21 dB ลดได้ถึง 17 dB ดังแสดงในรูปที่ 4.8 และ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งที่มุม -40 องศา และ 45 องศา แบบวิธี IDFT และวิธีการปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก ตามลำดับ ทั้งนี้จะเห็นว่าแบบรูปการแผ่พลังงานที่ได้จากวิธีการปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักเป็นไปตามเงื่อนไขที่เรากำหนด แต่แบบรูปการแผ่พลังงานก็ยังมีคามผิดเพี้ยนไปจากเดิม จึงเลือกที่ค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักที่มากที่สุดเท่ากับ 25 dB แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานดังรูปที่ 4.10 ซึ่งลดค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักได้ถึง 13 dB

กรณีที่ 5 สายอากาศแถวลำดับเชิงระนาบมีขนาด 8×8 และกำหนดให้

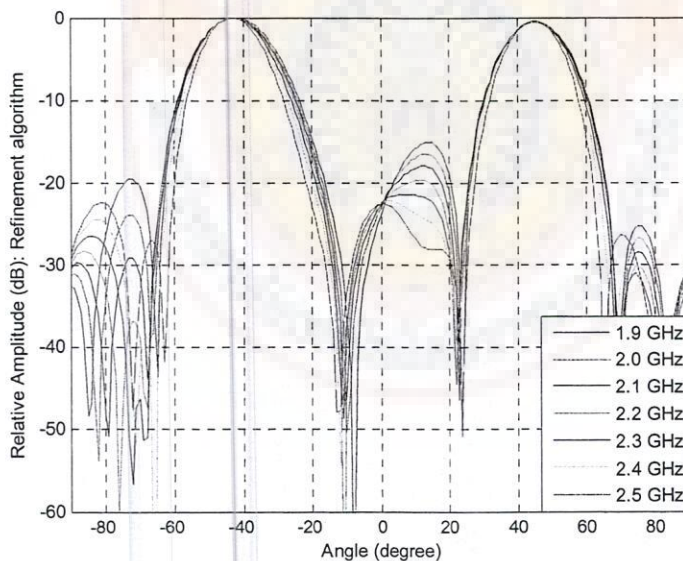
1. ค่าของมุมที่เข้ามาคือ ϕ_{01} เท่ากับ -40 องศา และ ϕ_{02} เท่ากับ 45 องศา
2. ค่าเบี่ยงเบนของมุมทั้งสองไม่เกิน 5 องศา ($\Delta\phi \leq 5^\circ$)
3. ค่าเบี่ยงเบนของลำคลื่นรองไม่เกิน 5 dB ($\Delta MLL \leq 5dB$)
4. ค่าความกว้างของลำคลื่นไม่เกิน 5 องศา ($\Delta\Theta \leq 5^\circ$)

ผลจากการใช้โปรแกรมที่ได้ออกแบบไว้ปรากฏว่าสามารถลดค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักจาก 28 dB เหลือเพียง 9 dB ลดได้ถึง 19 dB และเซตของคำตอบทั้งหมดเป็น 838 เซต โดยที่คุณสมบัติของแบบรูปการแผ่พลังงานไม่ผิดเพี้ยน ดังแสดงในรูปที่ 4.11 และ 4.12 แสดงการ

เปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศกึ่งทึ่ม -40 องศา และ 45 องศา แบบวิธี IDFT และวิธีการปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก ตามลำดับ



รูปที่ 4.11 แบบรูปการแผ่พลังงานที่มุม -40 และ 45 องศา โดยวิธี IDFT

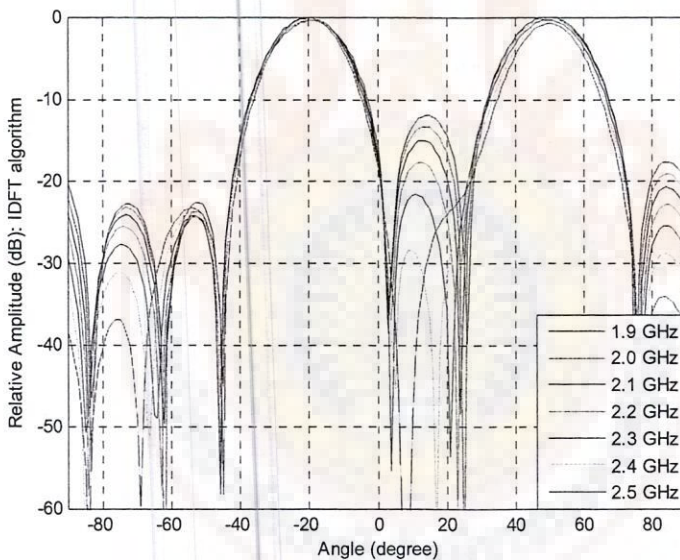


รูปที่ 4.12 แบบรูปการแผ่พลังงานที่มุม -40 และ 45 องศา โดยวิธีการปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก

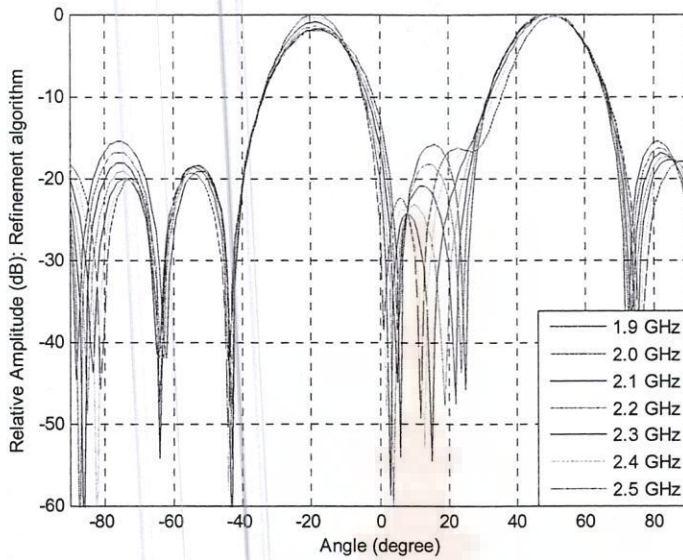
กรณีที่ 6 สายอากาศแถวลำดับเชิงระนาบมีขนาด 8×8 และกำหนดให้

1. ค่าของมุมที่เข้ามาคือ ϕ_{01} เท่ากับ -20 องศา และ ϕ_{02} เท่ากับ 50 องศา
2. ค่าเบี่ยงเบนของมุมทั้งสองไม่เกิน 5 องศา ($\Delta\phi \leq 5^\circ$)
3. ค่าเบี่ยงเบนของลำคลื่นรองไม่เกิน 5 dB ($\Delta MLL \leq 5$ dB)
4. ค่าความกว้างของลำคลื่นไม่เกิน 5 องศา ($\Delta\Theta \leq 5^\circ$)

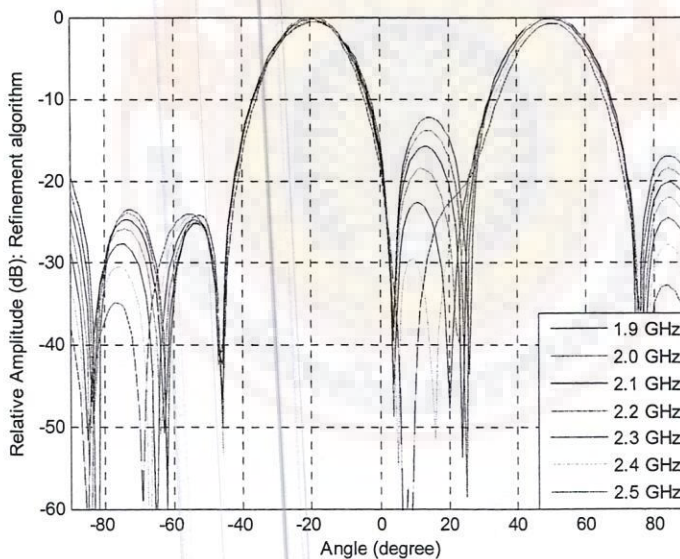
เมื่อกำหนดให้โปรแกรมวนรอบจนค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักมีค่าเป็น 0 และได้ชุดคำตอบสุดท้ายที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักมากที่สุดคือ 13 dB จากค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักจากวิธี IDFT คือ 36 dB จะเห็นว่าลดได้ถึง 23 dB แต่อย่างไรก็ตามในรูปที่ 4.14 ก็มีความผิดเพี้ยนจากรูปที่ 4.13 จึงเลือกชุดคำตอบที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักมากที่สุดที่ 25 dB ได้แบบรูปการแผ่พลังงานดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.13 แบบรูปการแผ่พลังงานที่มุม -20 และ 50 องศา โดยวิธี IDFT



รูปที่ 4.14 แบบรูปการแผ่พลังงานที่มุม -20 และ 50 องศา โดยวิธีการปรับแต่งค่า
สัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก



รูปที่ 4.15 แบบรูปการแผ่พลังงานที่มุม -20 และ 50 องศา โดยวิธีการปรับแต่งค่า
สัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักที่มากที่สุดเท่ากับ 25 dB

อย่างไรก็ตามเราจะเห็นว่าจากการปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก เมื่อเราปล่อยให้
รันโปรแกรมจนค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักทุกตัวกลายเป็นศูนย์เราจะได้เซตคำตอบของค่า

สัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักภายใต้เงื่อนไขของค่าเบี่ยงเบนของมุม ค่าเบี่ยงเบนของลำคลื่นรอง และค่าความกว้างของลำคลื่น ในขณะที่เดียวกันเราก็สามารถกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักที่มากที่สุดที่เราต้องการให้โปรแกรมค้นหาเซตของคำตอบตามเงื่อนไขที่เราวางไว้ได้ ซึ่งป็นข้อดีของโปรแกรมการปรับแต่งทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป และความสามารถในการหาอุปกรณ์รองรับในระบบจริง อย่างไรก็ตามการใช้โปรแกรมการปรับแต่งกับลำคลื่นซึ่งมีลำคลื่นที่มากกว่า 2 ลำคลื่นขึ้นไป ควรเลือกใช้การปรับแต่งกับสายอากาศที่มีขนาดตั้ง 8×8 ขึ้นไป จึงจะมีความเหมาะสม ซึ่งในความเป็นจริงแล้วสายอากาศแถวลำดับที่มีโครงสร้างขนาดใหญ่ และไม่เหมาะที่จะนำมาใช้งานได้จริง

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

เนื่องจากความต้องการการสื่อสารของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่เพิ่มปริมาณความต้องการใช้ปริมาณของข้อมูลที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และมากมายมหาศาล รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงเข้าสู่การวิวัฒนาการของเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคที่ 4 และ ยุคที่ 5 (3G และ 4G) เพื่อที่จะรับมือกับความ ต้องการสำหรับการสื่อสารอัตราการส่งข้อมูลในระดับสูงที่ผู้ใช้มีความต้องการใช้งานข้อมูลในหลากหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็น เสียง ภาพ ภาพเคลื่อนไหว การส่งข้อความ เป็นต้น สิ่งเหล่านี้ ต้องการระบบที่รองรับความสามารถในการรองรับการรับส่งปริมาณข้อมูลจำนวนมาก และรวดเร็ว ระบบสายอากาศเก่ง หรือ Smart Antenna เป็นระบบที่มีความสามารถในการรองรับกับความ ต้องการใช้งานข้อมูลปริมาณสูงได้ ระบบสายอากาศเก่ง ประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ สายอากาศแถวลำดับ และส่วนประมวลผลสัญญาณ โดยในส่วนที่สองนี้เองซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้สาย อากาศเก่งมีความเก่งเหนือสายอากาศอื่นๆ นอกจากนี้อัลกอริทึมของระบบสายอากาศเก่งได้ถูก พัฒนาให้สามารถรองรับการใช้งานที่แถบความถี่กว้าง ด้วยวิธีการที่ไม่ยุ่งยุ่งยาก วิธีนั้นเรียกว่า วิธีการประมวลผลเชิงตำแหน่งเพียงอย่างเดียว (Only Spatial Beam-forming) โดยส่วนประกอบ ของสายอากาศเก่งที่ใช้ในแถบความถี่กว้างประเภทนี้ ประกอบด้วย ส่วนของสายอากาศแถวลำดับ เจริญระนาบ และส่วนของตัวลดทอน หรือตัวขยายกำลัง โดยค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักที่ได้จาก วิธี IDFT ทำให้สายอากาศลดความยุ่งยากในการสร้าง และราคาถูกลงจากวิธีเดิมๆ

อย่างไรก็ตามค่าสัมประสิทธิ์น้ำหนักที่ได้รับไม่ได้เป็นจำนวนเต็ม และค่าระหว่างค่าสูงสุด และต่ำสุด (ช่วงแบบไดนามิก) สัมประสิทธิ์น้ำหนักค่อนข้างสูง ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้เสนอขั้นตอน วิธีการที่จะแก้ปัญหาเหล่านี้ โดยเรียกขั้นตอนกระบวนการเหล่านี้ว่า วิธีการปรับแต่ง (Refinement Method)

สาระสำคัญสำหรับงานวิจัยชิ้นนี้จึงเป็นการนำเสนอวิธีการปรับแต่งสัมประสิทธิ์การถ่วง น้ำหนัก ที่ได้จากวิธี IDFT โดยได้วิเคราะห์แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศเก่งที่สามารถก่อ รูปลำคลื่นได้พร้อมๆกันในหลายๆทิศทาง โดยกำหนดเงื่อนไขคุณสมบัติของแบบรูปการแผ่ พลังงานเพื่อให้ได้แบบรูปการแผ่พลังงานที่ได้ใหม่จากการปรับแต่งไม่มีความแตกต่างไปจากเดิม มากนัก โดยกำหนดให้มีค่าเบี่ยงเบนของแบบรูปการแผ่พลังงาน ดังนี้

1. ค่าเบี่ยงเบนของมุมที่เข้ามา
2. ค่าเบี่ยงเบนของลำคลื่นรองสูงสุด
3. ค่าเบี่ยงเบนของความกว้างของลำคลื่น

จากผลการจำลองวิธีการปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักด้วยโปรแกรม MATLAB เมื่อสายอากาศแถวลำดับเชิงระนาบทำงานที่ความถี่ 1.9 – 2.5 GHz และกำหนดให้โครงสร้างของสายอากาศมีขนาดตั้งแต่ 5×5 ถึง 8×8 เมื่อกำหนดให้ค่ามุมที่เราเข้ามาที่มุม -40 และ 45 องศา แบบรูปการแผ่พลังงาน ค่าเบี่ยงเบนการของมุมทั้งสองไม่เกิน 5 องศา ค่าเบี่ยงเบนของลำคลื่นรองไม่เกิน 5 dB และค่าความกว้างของลำคลื่นไม่เกิน 5 องศา ผลปรากฏว่าแบบรูปการแผ่พลังงานที่ได้จากวิธีการปรับแต่งมีคุณสมบัติที่เป็นไปตามเงื่อนไขที่เรากำหนด และยังได้แสดงแบบรูปการแผ่พลังงานที่มุมอื่นๆ พร้อมทั้งแสดงให้เห็นว่าเราสามารถเลือกเขตของคำตอบที่เหมาะสมจากเขตของคำตอบที่ได้จากวิธีการปรับแต่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักที่จำลองได้จากโปรแกรม ดังนั้นจะเห็นว่าวิธีการปรับแต่งช่วยให้ลดช่วงของค่าการถ่วงน้ำหนักลงมาได้ ทำให้เมื่อนำไปสร้างเป็นระบบสายอากาศเก่งจริงๆ ก็สามารถลดค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบสายอากาศลงได้ นอกจากนี้ความสามารถในการชี้ทิศได้ 2 ทิศพร้อมๆ ก็ยังเป็นการระบุพื้นที่ที่ต้องการใช้งานจริง ทำให้ไม่สูญเสียพลังงานไปในทิศทางอื่นๆที่เราไม่ต้องการได้

รายการอ้างอิง

- [1] ฉัญฉกร วุฒิสถิตธิกุลกิจ. 2546. หลักการระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ. หน้า 2-3.
- [2] S. Simanapalli, "Adaptive methods for mobile Communication," *IEEE Vehicular Technology Conference 44th*, pp. 1503-1506, 1994.
- [3] M. Uthansakul and M. E. Bialkowski, "A Wideband Spatial Beamformer Employing a Rectangular Array of Planar Monopoles," *Proc. IEEE Int. Ant. and Prop. Symp., Washington 3-8 July, 2005*.
- [4] Y. Huang, W. Tidd, A. Olson and R. S. Wolff, "A Compact Smart Antenna for Wimax Radio," *IEEE MWS'09*, pp. 169-173, 2009.
- [5] S. P. Applebaum, "Adaptive arrays", Syracuse University Research Corporation Report, SPL TR 66-1, Aug. 1966.
- [6] H. Krim and M. Viberg, "Two Decades of Array Signal Processing Research," *IEEE Signal Processing Magazine*, pp.67-94, July 1996.
- [7] B. D. Rao and K.V.S. Hari, "Performance analysis of ESPRIT and TAM in Determining the Direction of Arrival Plane Waves in Noise," *IEEE Trans. ASSP*, ASSP-37, pp. 1990-1995, Dec.1989.
- [8] J. C. Libert and T. S. Rappaport, "Smart Antenna for Wireless Communication: IS-95 and Third Generation CDMA Applications," Prentice Hall PRT, NJ, 1999.
- [9] C. Seungwon, D. Shim and T. K. Sarkar, "A Comparison of Tracking-Beam Arrays And Switching-Beam Arrays Operating in a CDMA Mobile Communication Channel," *IEEE Ant. and Prop. Mag., Vol. 41*, pp. 10-56, Dec. 1999.
- [10] C. F. du Toit, O. P. Gupta, W. J. Brown, D. He, J. Patel, P.F. Acsi, C. Sui and M. Peyghaleh, "Smart Multibeam Phased Array Antenna for GSM, GPRS and EDGE," in *Proc. IEEE Inter. Sym. On Phase Array Systems and Tech*, pp. 146-151, Oct. 2003.
- [11] M. Ghavami, "Wideband Smart Antenna Theory using Rectangular Array Structures," *IEEE Trans. On Sig. Proc., Vol. 50, No.9*, pp.2431-2151, Sept. 2002.
- [12] M. Uthansakul and M. E. Bialkowski, "Impact of Wideband Signals on Smart Antenna System," *Proc. of MIKON, Vol. 2*, pp. 501-504, May 2004.

- [13] R. Kohno, "Spatial and Temporal Communication Theory Using Adaptive Array," *IEEE Personal Communication, Vol. 5, No.1, pp.28-35, Feb. 1998*.
- [14] M. Hefnawi and G. Y. Delisle, "Performance analysis of Wideband Smart Antenna System Using Difference Frequency Compensation Techniques," *Proc. IEEE Symp. Comput. Comm. pp. 237-242, July 2001*.
- [15] M. Uthansakul and M. E. Bialkowski, "An Investigation of a Smart Antenna System for Wideband Communications," *Proc. of MIKON, Vol. 2, pp. 505-508, 17-21 May 2004*.
- [16] M. Uthansakul and M. E. Bialkowski, "Fully Spatial Wide-Band Beamforming Using a Rectangular Array of Planar Monopoles," *IEEE Trans. Ant. and Prop., Vol. 54, pp. 527-533, Feb. 2006*.
- [17] C Bunsanit, P. Uthansakul, R. Wongsan, M. Uthansakul, "Low Profile Multi-Beam Former Operating in Wide Frequency Band," *ECTI-CON 6th International Conference, Vol.22, pp. 774-777, 2009*.
- [18] M. Uthansakul and M. E. Bialkowski, "Wideband Beam and Null Steering Using a Rectangular Array of Planar Monopoles," *IEEE Microwave and Wireless Components Letter, Vol. 16, No.3, pp. 116-118, Mar. 2006*.
- [19] J.M.M. Silva, S. Roy, P. Fortier, "The impact on the capacity of a GSM/GPRS system using space-time processing technique," *Electrical and Computer Engineering, Vol.2, pp.977-980 May. 2003*.
- [20] R. Monzingo, T. Miller, "Introduction to Adaptive Arrays" Wiley and Sons, NY, 1980.
- [21] B. Widrow and S.D. Stearns, "Adaptive Signal Processing," Prentice Hall, N.J.1985.
- [22] M. Uthansakul and M. E. Bialkowski, "DOA Estimation by a Smart Antenna with Non-Uniform Component operating in a Wide Frequency Band," to appear in *Proc. 7th International Symp. On Digital Signal Procs. and Comm. Syst., Australia, Dec. 2003*.
- [23] M. Uthansakul and M. E. Bialkowski, "A Smart Antenna with Non-Uniform Components for a Wideband Communication System," *Proc. Asia Pacific Microwave Conference, Vol. 3, pp. 1542-1545, Nov. 2003*.
- [24] M. Uthansakul and M. E. Bialkowski, "An Investigation into Wideband Performance of a Rectangular Array of Planar Monopoles," in *Proc. 9th Australian Symp. Antennas, Sydney, Australia, Feb. 2005*.

- [25] M. Uthansakul and M. E. Bialkowski, "Suppression of Multiple Wideband Interferences with The Use of a Wideband Spatial Beamformer," *Proc. IEEE Int. Ant. and Prop. Symp.*, pp. 9-15, June. 2007.
- [26] M. Uthansakul and M. E. Bialkowski, "Wideband Beam Forming with a Rectangular Array Antenna," *IEEE Wireless Technology*, pp. 63-66, Oct. 2005.
- [27] M. Uthansakul and M. E. Bialkowski, "An Array Antenna with Wideband Beam Steering Capability Employing Spatial Signal Processing," *Proc. of MIKON*, pp. 469-472, 22-24 May 2006.
- [28] M. Uthansakul and P. Uthansakul, "Null Steering Scheme for Wideband Spatial Beamformer," *IEEE Microwave Conference on APMC*, pp. 1-4, 11-14 December 2007.
- [29] M. Uthansakul and M. E. Bialkowski, "Design a Wideband Spatial Beamformer for Low Sidelobe Radiation Pattern Performance," *IEEE Microwave Conference on APMC*, Vol. 3, 2007.
- [30] M. Uthansakul and M. E. Bialkowski, "Investigation into a Wideband Spatial beamformer employing a rectangular Array of Planar Monopoles," *IEEE Antenna and Propagation Magazine*, Vol. 47, pp.91-99, 2006.
- [31] M. Uthansakul and M. E. Bialkowski, "Wideband Smart Antenna Using Non-Uniform Components," *Proc. of MIKON*, pp. 70-73, 2004.
- [32] M. Uthansakul and M. E. Bialkowski, "Design and Performance Assessment of a Wideband Smart Antenna Employing Only Spatial Processing," *Antenna and Propagation Society International Symposium*, pp. 2525-2528, 2006.
- [33] M. Uthansakul and M. E. Bialkowski, "An Investigation into Smart Antenna Configurations for Wideband Communication," *Proc. of MIKON 15th*, Vol.2 pp. 505-508, 2004.
- [34] M. Uthansakul and M. E. Bialkowski, "Frequency-Angle Dependence Compensations of Non-Uniform Components for Wideband Smart Antenna," *IEEE Proc. of Microwave Symposium Digest*, Vol.2 pp. 1253-1256, 2004.
- [35] S. S Jeon, Y. Wang, Y. Qian, and T. Itoh, "A Novel Smart Antenna System Implementation for Broad-band Wireless Communications," *IEEE Trans. on Ant. and Prop.*, Vol. 50, No. 5, pp. 600-606, May 2002.

- [36] F. W. Vook and R. T. Compton, "Bandwidth Performance of Linear Adaptive Arrays with Tapped Delay-line Processing," *IEEE Trans. Aerospace and Electronic System.*, Vol. 28, pp. 901-908, 1992.
- [37] T. D. Hong and P. Russer, "Signal Processing for Wideband Smart Antenna Array Applications," *IEEE Microwave Magazine*, Vol. 5, pp. 57-67, Mar. 2004.
- [38] L. Y. Materum and J. S. Marciano , "Wideband Nulling Capability Estimate of a Tapped Delay Line Beamformer," in proc. *IEEE Conf. on Wirl. Comm. Tech.*, pp.386-387, 2003.