

การสังเคราะห์แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแถวลำดับ เชิงเส้น โดยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงด้วย ลำดับเคโอดิก

Linear Array Pattern Synthesis Using Chaotic Sequence Enhanced FOA Method

ณัฐเศรษฐ์ หมวดทองอ่อน

แขนงวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

บทคัดย่อ

การใช้งานของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงด้วยลำดับเคโอดิก สำหรับการสังเคราะห์แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นในช่องว่างอิสระถูกนำเสนอในงานวิจัยนี้ เพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอ วัตถุประสงค์ของการออกแบบสายอากาศ คือ การได้มาซึ่งค่าสภาพเจาะจงทิศทางมากที่สุดของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น โดยการปรับพารามิเตอร์แอมพลิจูดและระยะห่างระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับ ท้ายที่สุดนี้ ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงด้วยลำดับเคโอดิก สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการค้นหาคำตอบ สำหรับปัญหาทางไฟฟ้าขนาดใหญ่ของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นในช่องว่างอิสระ

คำสำคัญ : สายอากาศแถวลำดับ, ลำดับเคโอดิก, ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง, ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่

Abstract

The use of a chaotic sequence enhance FOA method (CFOA) for linear array pattern synthesis in free space is proposed in this paper. To show the effectiveness of the proposed method, the objective of antenna design is to achieve maximum directivity for linear antenna array by controlling amplitude and inter-element spacing parameters of the array antenna. Finally, the CFOA can greatly enhance the searching efficiency for electrically large problems of the linear antenna array in free space.

Keywords : Array Antenna, Chaotic Sequence, Directivity, Fruit Fly Optimization Algorithm

1. บทนำ

การสังเคราะห์แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแถวลำดับ เป็นหัวข้อวิจัยที่มีความสำคัญและน่าสนใจสำหรับการสื่อสารแบบไร้สาย เนื่องจากสายอากาศแถวลำดับมีการนำไปประยุกต์ใช้งานกันอย่างกว้างขวาง ยกตัวอย่างเช่น เรดาร์ ดาราศาสตร์วิทยุ ดาวเทียม และระบบการสื่อสารแบบเซลลูลาร์ ดังนั้นเพื่อให้เกิดความเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานจริง แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแถวลำดับ จะถูกกำหนดให้มีความสอดคล้องกับคุณลักษณะบางประการของสายอากาศ ได้แก่ ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง และระดับลำคลื่นข้อยด้านข้าง เป็นต้น

วิธีการสังเคราะห์แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแถวลำดับ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีการ คือ การสังเคราะห์ด้วยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบวงแคบ ยกตัวอย่างเช่น การแจกแจงทวินาม พหุนามเชบีเชฟ และพหุนามเลจองดร์ เป็นต้น [1] อย่างไรก็ตามการหาค่าที่เหมาะสมของสายอากาศแถวลำดับ จัดว่าเป็นปัญหาแบบไม่เชิงเส้น ดังนั้นวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบวงแคบจึงไม่ใช่วิธีการที่เหมาะสมที่สุดกับปัญหาดังกล่าว [2] สำหรับวิธีการที่มีความเหมาะสมกับการนำมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับการสังเคราะห์แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแถวลำดับ คือ วิธีการแบบเมตาฮิวริสติก ยกตัวอย่างเช่น ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยฝูงอนุภาค การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยอาณานิคมมด และอื่นๆ เป็นต้น [3] ซึ่งโครงสร้างของวิธีการดังกล่าวมีพื้นฐานมาจากการจำลองทางธรรมชาติ โดยจะก่อให้เกิดกระบวนการของการค้นหาคำตอบที่มีความหลากหลายภายในบริเวณพื้นที่ของการค้นหาคำตอบ

วิธีการหาค่าคำตอบรูปแบบใหม่และกำลังได้รับความนิยมที่เกี่ยวข้องกับวิธีการแบบเมตาฮิวริสติก คือ วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบแมลงหวี่ [4] โดยวิธีการดังกล่าวมีพื้นฐานมาจากพฤติกรรมในการค้นหาอาหารของแมลงหวี่ เนื่องจากเป็นวิธีการหาค่าคำตอบรูปแบบใหม่และง่ายต่อการทำความเข้าใจ ดังนั้นวิธีการดังกล่าวจึงถูกนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ กันอย่างแพร่หลาย [5] อย่างไรก็ตามงานวิจัยบางส่วนได้แสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดที่สำคัญของการหาค่าคำตอบ ที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงกับการได้มาซึ่งคำตอบแบบท้องถิ่นด้วยวิธีการดังกล่าวได้ ดังนั้นจึงได้มีการนำเสนอวิธีการต่างๆ เพื่อปรับปรุงสมรรถนะของการหาค่าคำตอบของวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบแมลงหวี่ [6]

เมื่อไม่นานมานี้ ได้มีการนำทฤษฎีเคออส มาประยุกต์ใช้งาน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการหาค่าคำตอบของวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบแมลงหวี่ โดยเป็นการใช้ลำดับเคออดิกแบบ Tent ซึ่งวิธีการดังกล่าวทำให้เกิดกระบวนการของการค้นหาคำตอบที่มีประสิทธิภาพ ถูกต้อง และแม่นยำกับการแก้ไขปัญหาแบบไม่เชิงเส้นและมีคำตอบท้องถิ่นอยู่มากมาย [7]

งานวิจัยนี้จะนำเสนอวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงด้วยลำดับเคออดิกแบบ Tent สำหรับปัญหาทางไฟฟ้าขนาดใหญ่ของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น เพื่อที่จะศึกษาถึงประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอ การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของพารามิเตอร์ขนาดของกระแสและระยะห่างระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศแถวลำดับ ที่มีผลทำให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแถวลำดับ มีค่าสภาพเจาะจงทิศทางมากที่สุด คือ สิ่งที่ถูกพิจารณาและจะทำการเปรียบเทียบร่วมกับผลลัพธ์จากการคำนวณเชิงเลขของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรมร่วมกับฟังก์ชัน Fminsearch ซึ่งเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพ

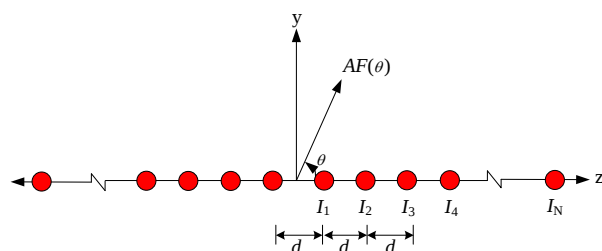
และได้รับความนิยมนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ ในปัจจุบัน

2. การออกแบบสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น

2.1 ตัวประกอบแถวลำดับเชิงเส้น

กำหนดให้ สายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นขององค์ประกอบแบบไอโซทรอปิก ถูกวางอย่างสมมาตรกับจุดกึ่งกลางของสายอากาศและระยะห่างระหว่างองค์ประกอบมีระยะที่เท่ากัน เมื่อจำนวนองค์ประกอบเป็นจำนวนคู่ ตัวประกอบแถวลำดับ [8] สามารถเขียนได้ดังสมการที่ (1) และโครงสร้างสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นขององค์ประกอบแบบไอโซทรอปิก เมื่อจำนวนองค์ประกอบเป็นจำนวนคู่สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1 ตามลำดับ

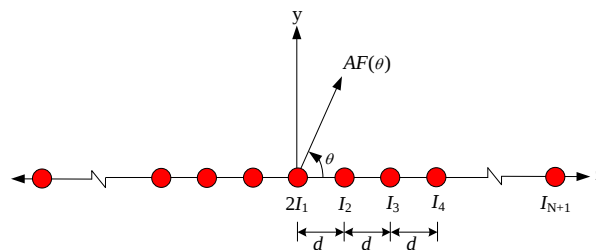
$$AF_{2N}(\theta) = \sum_{n=1}^N I_n \cos \left[(2n-1) \frac{\pi d}{\lambda} \cos \theta \right] \quad (1)$$



รูปที่ 1 สายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นขององค์ประกอบแบบไอโซทรอปิก เมื่อจำนวนองค์ประกอบเป็นจำนวนคู่

เมื่อจำนวนองค์ประกอบมีค่าเป็นจำนวนคี่ ตัวประกอบแถวลำดับ [8] สามารถเขียนได้ดังสมการที่ (2) และโครงสร้างสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นขององค์ประกอบแบบไอโซทรอปิก เมื่อจำนวนองค์ประกอบเป็นจำนวนคี่ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2 ตามลำดับ

$$AF_{2N+1}(\theta) = \sum_{n=1}^{N+1} I_n \cos \left[2(n-1) \frac{\pi d}{\lambda} \cos \theta \right] \quad (2)$$



รูปที่ 2 สายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นขององค์ประกอบแบบไอโซทรอปิก เมื่อจำนวนองค์ประกอบเป็นจำนวนคี่

เมื่อ I_n คือ สัมประสิทธิ์การกระตุ้นขนาดของกระแส $2N$ และ $2N+1$ คือ จำนวนคู่และจำนวนคี่ขององค์ประกอบ d คือ ระยะห่างระหว่างองค์ประกอบ λ คือ ความยาวคลื่น และ θ คือ มุมระหว่างทิศทางสนามไปยังแนวแกน z

2.2 ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง

ปัญหาการออกแบบสำหรับการศึกษาถึงสมรรถนะของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงด้วยลำดับเคโอติกแบบ Tent ร่วมกับการแก้ไขปัญหาทางด้านสนามแม่เหล็กไฟฟ้านั้น จะเป็นการพิจารณาโครงสร้างของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นแบบด้านข้างร่วมกับค่าสภาพเจาะจงทิศทางที่มีค่ามากที่สุด [8]

ดังนั้นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการออกแบบสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นแบบด้านข้าง สามารถเขียนได้ดังสมการที่ (3)

$$Directivity(D_o) = \frac{2 \left| AF \left(\theta_{\max} = \frac{\pi}{2} \right) \right|^2}{\int_0^\pi \left| AF(\theta) \right|^2 \sin \theta d\theta} \quad (3)$$

3. วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยระเบียบวิธี

ขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงด้วยลำดับเคโอดิก

ทฤษฎีเคออส หรือทฤษฎีความอลวน เป็นทฤษฎีที่อธิบายถึงระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลา โดยลักษณะของการเปลี่ยนแปลงจะคล้ายกับการเปลี่ยนแปลงแบบสุ่ม แต่แท้ที่จริงแล้วการเปลี่ยนแปลงของระบบสามารถที่จะกำหนดหรือระบุความเป็นระเบียบได้ ซึ่งมาจากกฎเกณฑ์ที่แน่นอนและตายตัว สำหรับประโยชน์ของทฤษฎีอลวนนั้นจะถูกใช้เพื่อสร้างความเสถียรให้กับระบบ ดังนั้นจึงได้มีการนำหลักการของทฤษฎีอลวน มาประยุกต์ใช้งานร่วมกับปัญหาการหาค่าที่ดีที่สุดของฟังก์ชัน เนื่องจากความอลวนสามารถสร้างความหลากหลายของประชากรในระบบ และสามารถที่จะหลีกเลี่ยงกับการได้มาซึ่งค่าคำตอบแบบท้องถิ่นได้

ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงด้วยลำดับเคโอดิกแบบ Tent ถูกพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 2015 โดย Yuan [7] ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวได้ทำการปรับปรุงสมรรถนะของการค้นหาคำตอบของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ใน 3 ขั้นตอนด้วยกัน กล่าวคือ ขั้นตอนแรก จะเป็นการกำหนดพารามิเตอร์ลำดับเคโอดิก แบบ Tent ($M(.)$) ลงในขั้นตอนการกำหนดตำแหน่งการบินสุ่มเริ่มต้นของกลุ่มแมลงหวี่ เพื่อเพิ่มความหลากหลายของคำตอบในระบบ ขั้นตอนที่ 2 คือ การเพิ่มรัศมีของการค้นหาอาหาร ($R(k)$) ลงในขั้นตอนการสุ่มเลือกทิศทางของแมลงหวี่สำหรับการค้นหาอาหาร เพื่อเพิ่มสมรรถนะในการค้นหาคำตอบที่ครอบคลุมพื้นที่สำหรับการค้นหาคำตอบทั้งหมด และขั้นตอนที่ 3 คือ การคำนวณค่าระยะทางของแมลงหวี่ในการดมกลิ่น สำหรับการค้นหาแหล่งอาหาร ด้วยสมการ $Dist_i = X_i^2 - Y_i^2$ โดยมีวัตถุประสงค์หลัก เพื่อเพิ่มพื้นที่สำหรับการค้นหาคำตอบ และหลีกเลี่ยงกับการค้นหาคำตอบที่ได้มาซึ่งค่าคำตอบแบบท้องถิ่น

โดยปกติแล้ว ขั้นตอนการใช้งานของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงด้วยลำดับเคโอดิกแบบ Tent กับการแก้ไขปัญหาของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด จะประกอบด้วย 7 ขั้นตอนที่สำคัญ ได้แก่

ขั้นตอนแรก คือ การกำหนดพารามิเตอร์เริ่มต้นและตำแหน่งการบินสุ่มเริ่มต้นของกลุ่มแมลงหวี่ ซึ่งประกอบด้วย

จำนวนรอบของการทำซ้ำมากที่สุด (k_{max})

ขนาดของกลุ่มประชากร ($size_{pop}$)

ขอบเขตการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้นของกลุ่มแมลงหวี่ในแนวแกน x และแนวแกน y ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$X_axis_i = L_i + M(.) (U_i - L_i) \quad (4)$$

$$Y_axis_i = L_i + M(.) (U_i - L_i) \quad (5)$$

เมื่อ U_i และ L_i คือ ขอบเขตบน และ ขอบเขตล่าง ของตำแหน่งกลุ่มแมลงหวี่ในระนาบ 2 มิติ และ $M(.)$ คือลำดับเคโอดิกแบบ Tent

ขั้นตอนที่ 2 คือ การสุ่มเลือกทิศทางของแมลงหวี่สำหรับการค้นหาอาหาร

$$X_i = X_axis_i + M(.) R(k) \quad (6)$$

$$Y_i = Y_axis_i + M(.) R(k) \quad (7)$$

เมื่อ $R(k)$ คือ รัศมีของการค้นหาอาหาร

ขั้นตอนที่ 3 คือ การคำนวณค่าระยะทางของแมลงหวี่ในการดมกลิ่น สำหรับค้นหาแหล่งอาหารและการคำนวณค่าความหนาแน่นของกลิ่น

$$Dist_i = X_i^2 - Y_i^2 \quad (8)$$

$$S_i = 1 / Dist_i \quad (9)$$

ขั้นตอนที่ 4 คือ การแทนค่าความหนาแน่นของกลิ่น ลงในฟังก์ชันความหนาแน่นของกลิ่น

$$Smell_i = objective\ function(S_i) \quad (10)$$

ขั้นตอนที่ 5 คือ การตรวจสอบตำแหน่งของแมลงหัวร่วมกับความหนาแน่นของกลิ่นที่มีค่ามากที่สุด

$$[Smellbest\ bestindex] = \max(Smell) \quad (11)$$

ขั้นตอนที่ 6 คือ การเก็บค่า โดยทำการบันทึกค่าความหนาแน่นของกลิ่นและตำแหน่งที่ดีที่สุดไว้

$$Smellbest = bestsmell \quad (12)$$

$$x_{axis} = x(bestindex) \quad (13)$$

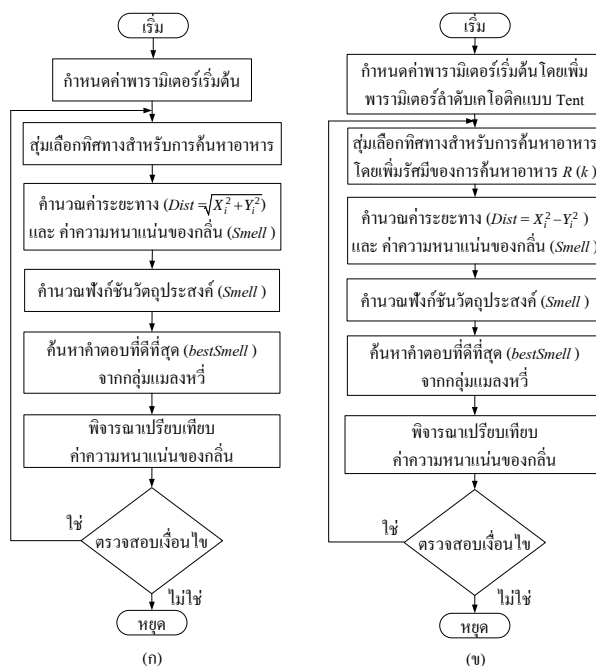
$$y_{axis} = y(bestindex) \quad (14)$$

ขั้นตอนที่ 7 คือ การทำซ้ำ โดยเข้าสู่กระบวนการทำซ้ำในขั้นตอนที่ 2 ถึง 6 ในกรณีที่ความหนาแน่นของกลิ่นเป็นค่าที่ดีกว่าค่าในรอบก่อนหน้า กระบวนการทำงานต่างๆ จะหยุดลง

เพื่อให้เกิดความเข้าใจที่เพิ่มมากขึ้นของวิธีการที่นำเสนอ การเปรียบเทียบโพลาร์ระหว่างระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหัว [4] และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหัวที่ถูกปรับปรุงด้วยลำดับเคโอดิกแบบ Tent สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3 (ก) และ (ข) ตามลำดับ

4. ผลลัพธ์ของการคำนวณเชิงเลข

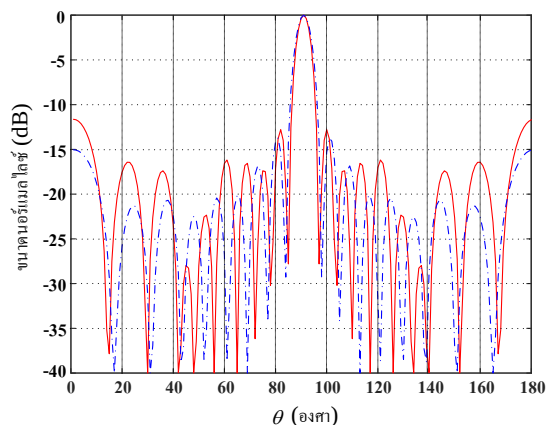
เพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอ สาขอากาศแฉวลำดับเชิงเส้นจำนวน 10 องค์ประกอบกับการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของพารามิเตอร์ขนาดของกระแสและระยะห่างระหว่างองค์ประกอบ ที่มีผลทำให้ค่าสภาพเจาะงทิตทางมีค่ามากที่สุดจะถูกพิจารณา และจะทำการทดสอบซ้ำ



รูปที่ 3 การเปรียบเทียบโพลาร์ระหว่าง (ก) ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหัว และ (ข) ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหัวที่ถูกปรับปรุงด้วยลำดับเคโอดิกแบบ Tent

เป็นจำนวน 100 ครั้ง แบบรูปการแพร่กระจายกลิ่นของสาขอากาศแฉวลำดับเชิงเส้นจากระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหัวที่ถูกปรับปรุงด้วยลำดับเคโอดิกแบบ Tent จะถูกนำมาพิจารณาเปรียบเทียบร่วมกับระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรมร่วมกับฟังก์ชัน Fminsearch ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4

จากรูปที่ 4 แสดงแบบรูปการแพร่กระจายกลิ่นของสาขอากาศแฉวลำดับเชิงเส้น ซึ่งจากรูปแสดงให้เห็นว่าความกว้างลำคลื่นจากการคำนวณด้วยวิธีการทั้งสอง มีความใกล้เคียงกัน แต่เมื่อทำการพิจารณาความกว้างลำคลื่นที่จุดศูนย์กลางแรก จะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งความกว้างลำคลื่นที่จุดศูนย์กลางแรกของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหัวที่ถูกปรับปรุงด้วยลำดับเคโอดิกแบบ Tent จะมีค่าน้อยกว่าระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรมร่วมกับฟังก์ชัน Fminsearch

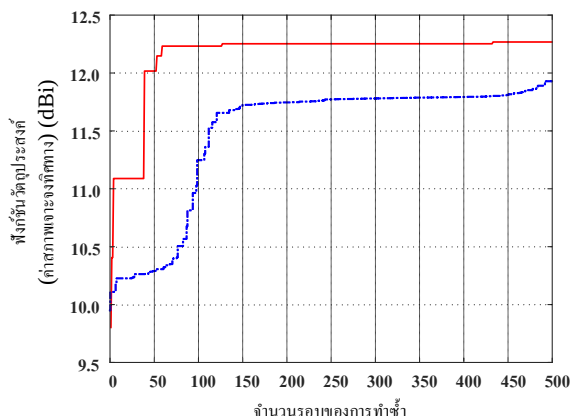


— ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงด้วยลำดับเคโอดิกแบบ Tent
 - - - ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรมร่วมกับฟังก์ชัน Fminsearch

รูปที่ 4 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแฉกลำดับเชิงเส้นจำนวน 10 องค์ประกอบ ด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงด้วยลำดับเคโอดิกแบบ Tent และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรมร่วมกับฟังก์ชัน Fminsearch

คุณลักษณะของสายอากาศที่มีความสำคัญและเป็นวัตถุประสงค์หลักสำหรับการออกแบบในงานวิจัย คือ ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง ซึ่งคุณลักษณะของสายอากาศดังกล่าวจะมีความสัมพันธ์กับความกว้างลำคลื่น กล่าวคือ ความกว้างลำคลื่นที่แคบจะมีผลทำให้ค่าสภาพเจาะจงทิศทางมีค่ามาก ซึ่งจากรูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่า ค่าสภาพเจาะจงทิศทางของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงด้วยลำดับเคโอดิกแบบ Tent มีค่ามากกว่าระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรมร่วมกับฟังก์ชัน Fminsearch

การลู่เข้าของคำตอบของสายอากาศแฉกลำดับเชิงเส้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5 ซึ่งจากรูปแสดงให้เห็นว่าการลู่เข้าของคำตอบด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงด้วยลำดับเคโอดิกแบบ Tent มีค่าที่แม่นยำกว่าระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรมร่วมกับฟังก์ชัน Fminsearch กล่าวคือ การลู่เข้าของคำตอบด้วย



— ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงด้วยลำดับเคโอดิกแบบ Tent
 - - - ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรมร่วมกับฟังก์ชัน Fminsearch

รูปที่ 5 การลู่เข้าของคำตอบของสายอากาศแฉกลำดับเชิงเส้นด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงด้วยลำดับเคโอดิกแบบ Tent และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรมร่วมกับฟังก์ชัน Fminsearch ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงด้วยลำดับเคโอดิกแบบ Tent จะเกิดการลู่เข้าตั้งแต่รอบการทำงานที่ 10 ถึง 40 จากนั้นการลู่เข้าจะมีค่าที่เพิ่มขึ้น จนกระทั่งเกิดการลู่เข้าของคำตอบที่เหมาะสม สำหรับระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรม ร่วมกับฟังก์ชัน Fminsearch การลู่เข้าของคำตอบมีแนวโน้มในการลู่เข้าของคำตอบที่เพิ่มขึ้น จนกระทั่งครบจำนวนรอบของการทำซ้ำ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบสายอากาศ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1

เพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ ที่ถูกปรับปรุงด้วยลำดับเคโอดิกแบบ Tent การทดสอบสมรรถนะของวิธีการที่นำเสนอ จะถูกทำการทดสอบร่วมกับปัญหาการออกแบบสายอากาศแฉกลำดับเชิงเส้น เพื่อให้ได้มาซึ่งค่าสภาพเจาะจงทิศทางมากที่สุด เมื่อจำนวนองค์ประกอบของสายอากาศแฉกลำดับเชิงเส้นมีค่ามากขึ้น โดยจำนวนองค์ประกอบของสายอากาศแฉกลำดับจะมีค่าตั้งแต่ 11 จำนวนองค์ประกอบ จนกระทั่งถึง 20 จำนวนองค์ประกอบ โดยผลที่ได้จากการ

คำนวณจะถูกนำมาพิจารณาเปรียบเทียบร่วมกับระเบียบวิธี
ขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรมร่วมกับฟังก์ชัน

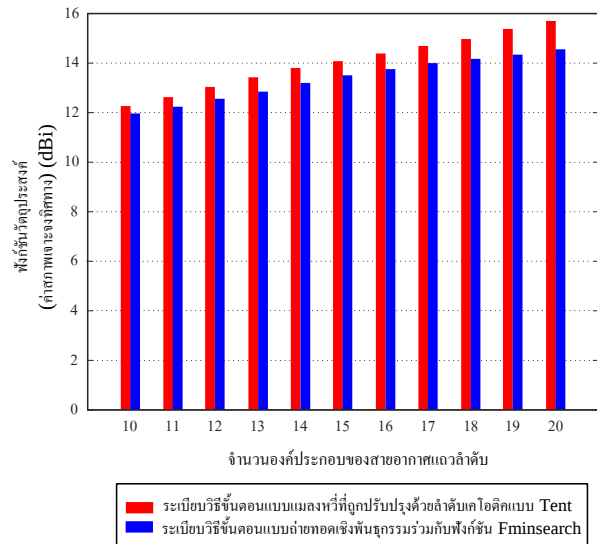
Fminsearch

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์และคุณลักษณะของสายอากาศที่เหมาะสมของสายอากาศแกลวลำดับเชิงเส้นจำนวน 10 องค์ประกอบ โดยใช้ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงด้วยลำดับเคโอติกแบบ Tent และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรมร่วมกับฟังก์ชัน

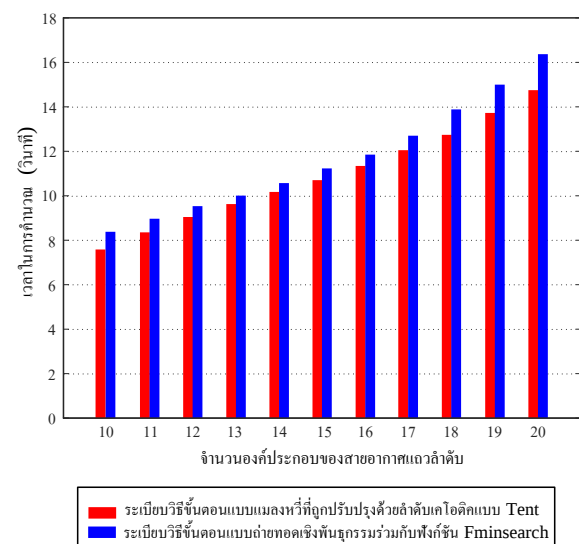
Parameters	CFOA Method	GA/Fminsearch Method
I_1, d_1	0.9511, 0.9439 λ	0.5755, 0.7377 λ
I_2, d_2	0.9500, 0.9455 λ	0.5930, 0.7761 λ
I_3, d_3	0.9510, 0.9100 λ	0.6022, 0.7982 λ
I_4, d_4	0.9215, 0.9323 λ	0.5991, 0.8117 λ
I_5, d_5	0.9466, 0.9120 λ	0.5429, 0.8107 λ
HPBW (deg)	5.45	6.31
D_0 (dBi)	12.2679	11.9695
Mean	12.2679	11.9695
SD	0.1954	0.3995
Time (sec)	7.5845	8.3805

Fminsearch

เมื่อจำนวนองค์ประกอบของสายอากาศแกลวลำดับเชิงเส้นมีค่ามากขึ้น ค่าสภาพเจาะจงทิศทางที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงด้วยลำดับเคโอติกแบบ Tent จะมีค่ามากกว่าค่าสภาพเจาะจงทิศทางที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรมร่วมกับฟังก์ชัน Fminsearch ในทุกปัญหาการออกแบบ ซึ่งผลการคำนวณสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6 (ก)



(ก) ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง



(ข) ระยะเวลาในการคำนวณ

รูปที่ 6 (ก) ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง และ (ข) ระยะเวลาในการคำนวณ เมื่อจำนวนองค์ประกอบของสายอากาศแกลวลำดับมีค่ามากขึ้น ด้วยระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงด้วยลำดับเคโอติกแบบ Tent และระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรมร่วมกับฟังก์ชัน Fminsearch

สำหรับระยะเวลาในการคำนวณ เมื่อจำนวนองค์ประกอบของสายอากาศแกลวลำดับเชิงเส้นมีค่ามากขึ้น

สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6 (ข) จากรูปสามารถสังเกตได้ว่าระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรมร่วมกับฟังก์ชัน Fminsearch จะใช้ระยะเวลาในการคำนวณน้อยกว่าระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิวที่ถูกปรับปรุงด้วยลำดับเคโอดิคแบบ Tent ในทุกปัญหาการออกแบบสายอากาศแฉลวดลำดับเชิงเส้น

5. บทสรุป

ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิวที่ถูกปรับปรุงด้วยลำดับเคโอดิคแบบ Tent ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพกับการออกแบบสายอากาศแฉลวดลำดับเชิงเส้นในช่องว่างอิสระ เพื่อที่จะประเมินสมรรถนะของวิธีการที่นำเสนอ ปัญหาการออกแบบสายอากาศแฉลวดลำดับเชิงเส้นในช่องว่างอิสระ เพื่อให้ได้มาซึ่งค่าสภาพเจาะจงทิศทางมากที่สุด โดยการปรับพารามิเตอร์ขนาดของกระแสและระยะห่างระหว่างองค์ประกอบของสายอากาศแฉลวดลำดับ คือสิ่งสำคัญสำหรับการพิจารณา และเพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่มีความแม่นยำในการหาค่าคำตอบของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิวที่ถูกปรับปรุงด้วยลำดับเคโอดิคแบบ Tent ผลลัพธ์จากการคำนวณเชิงเลข จะถูกนำมาพิจารณาพร้อมกับผลลัพธ์ของระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรมร่วมกับฟังก์ชัน Fminsearch จากการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของการคำนวณเชิงเลขพบว่า ระเบียบวิธีขั้นตอนแบบแมลงหิวที่ถูกปรับปรุงด้วยลำดับเคโอดิคแบบ Tent มีประสิทธิภาพในการเข้าสู่ของคำตอบและค้นหาคำตอบที่มีความแม่นยำเหนือกว่าระเบียบวิธีขั้นตอนแบบถ่ายทอดเชิงพันธุกรรมร่วมกับฟังก์ชัน Fminsearch ในทุกกรณีของปัญหาการออกแบบ ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่าวิธีการที่นำเสนอ มีความสามารถในการหาค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดกับปัญหาทางไฟฟ้าขนาดใหญ่ของสายอากาศแฉลวดลำดับเชิงเส้นในช่องว่างอิสระได้อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นวิธีการที่น่าสนใจกับการนำไปประยุกต์ใช้งาน ร่วมกับการแก้ไขปัญหาที่มีความซับซ้อนในหลายสาขาวิชา

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] C. Phongcharoenpanich and M. Krairiksh, "The discrete array pattern synthesis which provides the tapered minor lobes," *Thammasart Int. J. SC.Tech*, pp. 80-87, 1998.
- [2] S. S. Rao, *Engineering optimization*, John Wiley and Son, New York, NY, USA, 3rd edition, 1996.
- [3] K.L. Du and M.N.S. Swamy, *Search and optimization by metaheuristics*, Birkhäuser Basel, 1st edition, 2016.
- [4] W.-T Pan, "A new fruit fly optimization algorithm: taking the financial distress model as an example," *Knowledge-Based System*, vol. 26, pp. 69-74, 2012.
- [5] H. Iscan, and M. Gunduz, "An application of fruit fly optimization algorithm for traveling salesman problem," 8th International Conference on Advances in Information Technology, pp. 58-63, 2016.
- [6] N. Mhudgetongon, C. Phongcharoenpanich, and K. Watanabe, "Linear antenna synthesis with maximum directivity using improved fruit fly optimization algorithm," 2016 URSI International Symposium on Electromagnetic Theory, pp. 698-701, 2016.
- [7] X. Yuan, Y. Liu, Y. Xiang, and X. Yan, "Parameter identification of BIPT system using chaotic-enhanced fruit fly optimization algorithm," *Applied Mathematics and Computation*, vol. 268, pp. 1267-1281, 2015.
- [8] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, John Wiley and Son, New York, NY, USA, 2nd edition, 1997.