**ระบบสายอากาศสวิตช์ลำคลื่นด้วยกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมแบบแมลงหวี่ปรับปรุง**  
**Switched Beam Antenna System with Modified Fruit Fly Optimization Algorithm**

รัตติญา แก้วดวงตา และ ชูวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์\*

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Rattiya Kawdungta and Chuwong Phongcharoenpanich\*

Department of Telecommunications Engineering Faculty of Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

**\*Corresponding author E-mail:** chuwong.ph@kmitl.ac.th

**Received:** June 5, 2020 **Revised:** July 21, 2020 **Accepted:** July 22, 2020

**บทคัดย่อ**

ระบบสายอากาศสวิตช์ลำคลื่นถูกนำเสนอในบทความนี้เพื่อใช้สำหรับโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายในช่วงความถี่ 2.4 ถึง 2.5 GHz โดยสายอากาศที่นำเสนอนี้สามารถสวิตช์ลำคลื่นได้ 4 ทิศทาง ครอบคลุม 360 องศา ในระนาบมุมกวาด ระบบสายอากาศนี้ประกอบด้วย องค์ประกอบย่อยที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางจัดวางแบบวงกลม สวิตช์ความถี่สูง และ ส่วนประมวลผลซึ่งใช้กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมวิธีแบบแมลงหวี่ปรับปรุงในการควบคุมการสวิตช์ลำคลื่นแบบอัตโนมัติเพื่อหาทิศทางที่แรงที่สุดของสัญญาณ จากผลการออกแบบและทดสอบพบว่าระบบสายอากาศสวิตช์ลำคลื่นนี้มีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์เท่ากับ 50 Ω มีค่า |*S*11| น้อยกว่า -10 dB ตลอดช่วงความถี่ใช้งาน สามารถควบคุมการสวิตช์ลำคลื่นได้ด้วยความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังงานเท่ากับ 100 องศา และอัตราขยายเท่ากับ 6 dBi จากนั้นได้ทดสอบใช้งานจริงพบว่าสามารถใช้งานได้ดีกับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย

**คำสำคัญ**: กระบวนการหาค่าที่เหมาะสม โครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย วิธีแบบแมลงหวี่ สายอากาศสวิตช์ลำคลื่น

**Abstract**

This paper proposes switched beam antenna system for wireless local area network operating at 2.4 – 2.5 GHz. The proposed antenna enables switched beam of four directions cover 360 degrees in azimuth plane. This antenna system consists of unidirectional radiation pattern of element in circular array, RF switch and processing unit of MFOA optimization algorithm that is employed to find the maximum signal strength and control the RF switch. From simulated and measured results, the antenna system has an input impedance of 50 Ω, |*S*11| less than -10 dB along the operating frequency, and can be switchable HPBW of 100 degrees with 6 dBi gain. Finally, the prototype antenna is demonstrated that it can be used with wireless local area network.

**Keywords**: Optimization algorithm, Wireless local area network, Modified fruit fly optimization algorithm (MFOA),   
 Switched beam antenna.

**1. บทนำ**

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการติดต่อสื่อสารเริ่มมีความสำคัญมากในชีวิตประจำวันโดยเฉพาะเทคโนโลยีการติดต่อสื่อสารด้วยโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Local Area Network : WLAN) เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่สามารถทำให้ผู้ใช้งานเข้าสู่ระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้สะดวกและรวดเร็ว อีกทั้งยังมีจำนวนผู้ใช้งานเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ และเนื่องจากจำนวนผู้ใช้งานที่เพิ่มมากขึ้นนี้รวมกับสภาพแวดล้อมการใช้งานที่มักจะอยู่ภายในอาคารทำให้เกิดผลกระทบกับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย คือ เกิดการแทรกสอด (Interference) ของสัญญาณเป็นผลทำให้ประสิทธิภาพของระบบสื่อสารลดลง [1] จึงได้มีการพัฒนาการออกแบบสายอากาศที่มีลักษณะปรับเปลี่ยน  
แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นได้เพื่อช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวเรียกว่า สายอากาศแถวลำดับปรับลำคลื่น (Adaptive Array Antenna : AAA) หรือ สายอากาศฉลาด (Smart Antenna) สายอากาศชนิดนี้จะทำการปรับเปลี่ยนแบบรูป  
การแพร่กระจายคลื่นเข้าไปยังกลุ่มผู้ใช้งานและจะปรับจุดกำลังงานศูนย์ (Null) ของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเข้าหาสัญญาณรบกวน ด้วยความสามารถนี้ทำให้ลดระดับของสัญญาณรบกวนและเพิ่มประสิทธิภาพของโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายได้ อย่างไรก็ตามสายอากาศชนิดนี้มี  
ความซับซ้อนทั้งทางด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่ประกอบไปด้วยหลายส่วนจึงทำให้ราคาต้นทุนค่อนข้างสูง [1] จึงได้มีการพัฒนาสายอากาศที่สามารถปรับเปลี่ยน  
แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นได้อีกชนิดหนึ่งที่มีความซับซ้อนน้อยกว่าและราคาต้นทุนต่ำกว่าแต่ก็แลกด้วยความสามารถที่ลดลงกว่าเช่นกัน สายอากาศชนิดนี้เรียกว่า สายอากาศสวิตช์ลำคลื่น (Switched Beam Antenna) ซึ่งสายอากาศนี้จะมีลักษณะเป็นสายอากาศมากกว่าหนึ่งองค์ประกอบรวมอยู่ในโครงสร้างเดียวกันและใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภท พินไดโอด (PIN Diodes) หรือ สวิตช์อาร์เอฟ (Radio Frequency Switch : RF Switch) ในการควบคุมทิศทางของลำคลื่น โดยได้มีการศึกษาและพัฒนาออกมาหลากหลายรูปแบบดังจะกล่าวในบทความวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้ [1]-[9]

เริ่มจาก H. Wang และคณะ [1] ได้นำเสนอการออกแบบสายอากาศสวิตช์ลำคลื่นด้วยการใช้สายอากาศแถวลำดับจำนวน 4 องค์ประกอบจัดวางตามแนวนอนสองกลุ่ม คือ กลุ่มตรงกลางและกลุ่มด้านข้างเพื่อช่วยในการปรับรูปร่างของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นประกอบกันเป็นรูปหกเหลี่ยม โดยสามารถปรับลำคลื่นได้ทั้งหมด 6 ทิศทางและปรับรูปร่างของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นได้และในส่วนของการป้อนสัญญาณใช้โครงข่ายการป้อนสัญญาณของตัวเชื่อมต่อทิศทาง (Directional Coupler) และตัวหน่วงเฟส (Phase Delay) ถัดมาได้มีการออกแบบสายอากาศสวิตช์ลำคลื่นให้มีรูปร่างโค้งงอเข้ากับอุปกรณ์ที่ทำการติดตั้งได้เรียกว่า สายอากาศสวิตช์ลำคลื่นแบบคงรูป (Conformal Switched Beam Antenna) [2] มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกสามารถสวิตช์ลำคลื่นได้ 4 ทิศทางด้วยสวิตช์อาร์เอฟเบอร์ Skyworks SKY13298-360LF ครอบคลุม 360 องศา จากรูปแบบการปรับลำคลื่นด้วยสวิตช์ความถี่สูงได้มีงานวิจัยที่นำเสนอการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์มาควบคุมสายอากาศปรับลำคลื่นโดยใช้การส่งสัญญาณควบคุมผ่านพินไดโอด (PIN Diodes) [3] ที่เชื่อมต่อร่วมกับโครงข่ายการป้อนสัญญาณ พบว่าสามารถควบคุมการสวิตช์ลำคลื่นได้ 4 ทิศทาง

จากนั้นมีการพัฒนาการออกแบบสายอากาศสวิตช์  
ลำคลื่นเพื่อใช้สำหรับระบบการสื่อสารแบบไร้สายแบบต่างๆ เช่น M.-I. Lai และคณะ [4] ได้มีการนำเสนอสายอากาศแถวลำดับแบบช่องเปิด (Slot Antenna Array) จำนวน 4 องค์ประกอบวางตัวเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสควบคุมการปรับลำคลื่นด้วยพินไดโอดเบอร์ Infineon BAR64-02V สำหรับใช้ในงานอุปกรณ์การสื่อสารดิจิทัลภายในบ้านสามารถปรับลำคลื่นได้ 8 ทิศทางครอบคลุม 360 องศา ถัดมาเป็นการนำเสนอการออกแบบสายอากาศสวิตช์ลำคลื่นเพื่อใช้ในระบบรับสัญญาณดาวเทียมแบบเคลื่อนที่นำเสนอโดย Basari และคณะ [5] ซึ่งสวิตช์ลำคลื่นด้วยวงจรสวิตช์ร่วมกับชุดหมุนและระบบนำร่องดาวเทียม ถัดมาเป็นการออกแบบเพื่อใช้ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยนำเสนอการใช้สายอากาศยากิแบบแผ่นมาจัดเรียงกันเป็นสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นติดตั้งที่สถานีฐานและทำการปรับลำคลื่นในระนาบมุมกวาด [6] อีกแนวความคิดหนึ่งที่นำการออกแบบสายอากาศแถวลำดับปรับลำคลื่นมาใช้ในโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network) [7] โดยตัวสายอากาศมีลักษณะเป็นวงกลม ภายในมีองค์ประกอบคล้ายกับสายอากาศยากิ จำนวน 8 องค์ประกอบและควบคุมการสวิตช์ลำคลื่นครอบคลุมระนาบมุมกวาด 360 องศา ด้วยพินไดโอดที่ติดตั้งที่จุดป้อนสัญญาณของแต่ละองค์ประกอบ และสุดท้ายเป็นการนำเสนอการออกแบบและใช้สายอากาศสวิตช์ลำคลื่นกับเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายและเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายที่เป็นแบบ MIMO (Multiple Input Multiple Output) ตามลำดับ [8]-[9] จากบทความที่กล่าวมาพบว่าสายอากาศสวิตช์ลำคลื่นนั้นสามารถที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของโครงข่ายการสื่อสารได้อย่างชัดเจนโดยเฉพาะการใช้งานภายในอาคาร

จากบทความวิจัยที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นจะเห็นได้ว่าสายอากาศสวิตช์ลำคลื่นนี้ถึงแม้ว่าจะมีความสามารถน้อยกว่า สายอากาศแถวลำดับปรับลำคลื่น หรือ สายอากาศฉลาด และมีลักษณะการสวิตช์ลำคลื่นแบบคงที่ แต่ก็สามารถที่จะใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการติดต่อสื่อสารแบบไร้สายได้เป็นอย่างดีด้วยราคาต้นทุนที่ต่ำกว่า ดังนั้นในบทความนี้จึงได้นำเสนอการออกแบบระบบสายอากาศสวิตช์ลำคลื่นเพื่อใช้สำหรับโครงข่ายท้องถิ่น  
ไร้สายที่สามารถปรับเปลี่ยนแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นได้ 4 ทิศทาง ในระนาบมุมกวาดครอบคลุม 360 องศา และใช้กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมแบบแมลงหวี่ปรับปรุง (Modified Fruit fly Optimization Algorithm : MFOA) ในการควบคุมการปรับลำคลื่นแบบอัตโนมัติเพื่อหาทิศทางที่แรงที่สุดของสัญญาณ ซึ่งจะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและลดสัญญาณรบกวนที่มาในทิศทางที่ไม่ต้องการได้อีกด้วย และในรายละเอียดที่เหลือของบทความนี้จะกล่าวแยกออกเป็นหัวข้อต่างๆ ดังนี้ คือ โครงสร้างของสายอากาศองค์ประกอบย่อยและการจัดวางองค์ประกอบย่อย ระบบสายอากาศสวิตช์ลำคลื่น ผลการทดสอบ และสรุปผลการออกแบบในส่วนสุดท้าย

**2. โครงสร้างของสายอากาศองค์ประกอบย่อยและการจัดวางองค์ประกอบย่อย**

ในส่วนขององค์ประกอบย่อยจะใช้สายอากาศไมโคร  
สตริปแบบแผ่นสี่เหลี่ยมมีลักษณะการป้อนสัญญาณด้วยสายนำสัญญาณไมโครสตริปและมีวัสดุฐานรองวางเป็นชั้น

วางซ้อนอยู่ด้านบน (Superstrate) ด้วยระยะห่างเท่ากับ *d*1 ดังแสดงในรูปที่ 1 ในการออกแบบสายอากาศชนิดนี้ได้มีการเริ่มจากสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นสี่เหลี่ยมกับ  
สตับ (Stub) แบบเดิมที่ใช้ในเอกสารอ้างอิงที่ [10] นำมาเพิ่มวัสดุฐานรองวางเป็นชั้นวางซ้อนด้านบนเพื่อเป็นการช่วยเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศขึ้นหลังจากที่ได้ทำการเพิ่มวัสดุฐานรองชั้นวางซ้อนด้านบนแล้วจึงได้ทำการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายอากาศเพื่อให้สายอากาศมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่เหมาะสมได้พารามิเตอร์ดังแสดงในตารางที่ 1

(ก) (ข)

**รูปที่ 1** โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริป  
แผ่นสี่เหลี่ยมร่วมกับชั้นวางซ้อน

**ตารางที่ 1** พารามิเตอร์ของสายอากาศไมโครสตริปแผ่นสี่เหลี่ยมร่วมกับชั้นวางซ้อน

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| พารามิเตอร์ของสายอากาศ | ขนาด (mm) | พารามิเตอร์ของสายอากาศ | ขนาด (mm) |
| *W* | 50 | *l*2 | 8 |
| *L* | 90 | *l*3 | 19 |
| *w*1 | 26 | *t*1 | 3.2 |
| *w*2 | 15.5 | *t*2 | 3.2 |
| *w*3 | 7.3 | *d*1 | 0.1 |
| *l*1 | 45 |  |  |

จากพารามิเตอร์ของสายอากาศไมโครสตริปแผ่นสี่เหลี่ยมร่วมกับชั้นวางซ้อนเมื่อนำไปจำลองในโปรแกรมจำลอง [11] ทำให้ได้คุณสมบัติทางไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 2 และ 3 ตามลำดับ โดยมีค่า |*S*11| น้อยกว่า -10 dB ในช่วงความถี่ 2.4 ถึง 2.48 GHz และที่ความถี่กลาง 2.45 GHz มีค่า |*S*11| เท่ากับ -17 dB ในส่วนของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบชี้ทิศทางด้วยอัตราขยายเท่ากับ 6.65 dBi ที่ความถี่ 2.45 GHz เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีชั้นวางซ้อนจะมีค่าอัตราขยายเท่ากับ 5.81 dBi จะเห็นได้ว่ามีอัตราขยายเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากชั้นวางซ้อนและจากผลที่ได้มีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังงาน (Half Power Beam Width : HPBW) ที่ระนาบ *xy* เท่ากับ 100 องศา และที่ระนาบ *xz* เท่ากับ 90 องศา



**รูปที่ 2** |*S*11| ของสายอากาศไมโครสตริปแผ่นสี่เหลี่ยมร่วมกับชั้นวางซ้อน



(ก) ระนาบ *xy* (ข) ระนาบ *xz*

**รูปที่ 3** แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ  
ไมโครสตริปแผ่นสี่เหลี่ยมร่วมกับชั้นวางซ้อน

จากนั้นนำสายอากาศไมโครสตริปแผ่นสี่เหลี่ยมร่วมกับชั้นวางซ้อนมาจัดวางเป็นองค์ประกอบย่อยของสายอากาศแถวลำดับในรูปแบบวงกลมจำนวน 4 องค์ประกอบ ดังแสดงในรูปที่ 4 เมื่อมองจากมุมมองด้านบนจะเห็นได้ว่ารูปแบบของสายอากาศแถวลำดับจะมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสและเมื่อพิจารณาลักษณะการสวิตช์ลำคลื่นแบบลำคลื่นคงที่ (Fixed Beam) ก็จะเห็นได้ว่าสามารถปรับลำคลื่นได้ 4 ทิศทาง อย่างไรก็ตามเมื่อนำสายอากาศมาวางใกล้กันในลักษณะนี้สิ่งหนึ่งที่จะเกิดขึ้นก็คือ ค่าอิมพีแดนซ์ร่วม (Mutual Impedance) ซึ่งเกิดได้จากสายอากาศที่มีการแพร่กระจายคลื่นใกล้เคียงกันและสภาวะแวดล้อมรอบตัวสายอากาศ เป็นต้น จึงเป็นสาเหตุให้ต้องทำการพิจารณาผลกระทบดังกล่าวด้วยพารามิเตอร์กระจัดกระจาย (Scattering Parameter : )

**รูปที่ 4** การจัดวางองค์ประกอบย่อยของสายอากาศ  
แถวลำดับแบบวงกลมจำนวน 4 องค์ประกอบ



1. |*S*mm|



(ข) |*S*mn|

**รูปที่ 5** ค่าพารามิเตอร์กระจัดกระจายของสายอากาศ  
แถวลำดับแบบวงกลม 4 องค์ประกอบ

เมื่อพิจารณาค่าพารามิเตอร์กระจัดกระจายจากรูปที่ 5 พบว่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของการจัดวางสายอากาศแถวลำดับนั้นมีค่าต่ำกว่า -10 dB ในช่วงความถี่ 2.4 – 2.5 GHz ทั้งหมดซึ่งมีการเลื่อนของช่วงความถี่เล็กน้อยแต่ยังคงอยู่ในช่วงที่พิจารณา ในส่วนของค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านพบว่ามีค่าต่ำกว่า -20 dB ตลอดช่วงความถี่ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแต่ละองค์ประกอบเกิดการเชื่อมต่อต่ำและมีค่าอิมพีแดนซ์ร่วมน้อยมาก จากนั้นจึงพิจารณาแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแถวลำดับแบบวงกลมเนื่องจากสายอากาศสวิตช์ลำคลื่นที่ได้ออกแบบนี้ทำการ

สวิตช์ลำคลื่นในระนาบมุมกวาดจึงพิจารณาผลแบบรูปการ

แพร่กระจายคลื่นเฉพาะในระนาบมุมกวาดเท่านั้นซึ่งแสดงในรูปที่ 6 เป็นแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแถวลำดับแบบวงกลม 4 องค์ประกอบ จากผลของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ได้สายอากาศแถวลำดับแบบวงกลมแสดงให้เห็นว่าสามารถที่จะปรับลำคลื่นได้ครอบคลุม 360 องศา



**รูปที่ 6** แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบมุมกวาดของสายอากาศแถวลำดับแบบวงกลม 4 องค์ประกอบ

**3. ระบบสายอากาศสวิตช์ลำคลื่น**

รูปที่ 7 แสดงระบบสายอากาศสวิตช์ลำคลื่นด้วยกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมแบบแมลงหวี่ปรับปรุงที่นำเสนอในบทความนี้ประกอบด้วยองค์ประกอบย่อยแบบสายอากาศไมโครสตริปแผ่นสี่เหลี่ยมร่วมกับชั้นวางซ้อนจำนวน 4 องค์ประกอบใช้ร่วมกับสวิตช์อาร์เอฟ (RF Switch) แบบสวิตช์ 1 ขั้ว 4 ทาง (Single Pole Quad Throw : SP4T) P/N : HMC241AQS16) ควบคุมด้วยสัญญาณดิจิทัลสองระดับคือ ที่ระดับแรงดัน 0 V แทนสภาวะบิต “0” และที่ระดับแรงดัน 5 V แทนสภาวะบิต “1” ซึ่งสวิตช์อาร์เอฟสามารถควบคุมด้วยสัญญาณดิจิทัลจำนวน 2 บิต โดยสามารถรองรับความถี่สูงสุดได้ถึง 3.5 GHz และลักษณะของระบบสวิตช์อาร์เอฟแสดงในรูปที่ 8 และลักษณะรูปแบบการป้อนสัญญาณเพื่อควบคุมระบบสวิตช์อาร์เอฟแสดงในตารางที่ 2



**รูปที่ 7** ระบบสายอากาศสวิตช์ลำคลื่นด้วยกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมแบบแมลงหวี่ปรับปรุง



**รูปที่ 8** ระบบสวิตช์ความถี่สูงสำหรับเลือกป้อนสัญญาณแบบสวิตช์ 1 ขั้ว 4 ทาง

**ตารางที่ 2** สัญญาณควบคุมของระบบสวิตช์ความถี่สูงสำหรับเลือกป้อนสัญญาณแบบสวิตช์ 1 ขั้ว 4 ทาง

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ลำดับที่ | สัญญาณควบคุมของระบบสวิตช์ (Volts) | | สัญญาณขาเข้าเชื่อมต่อ |
| A | B |
| 1 | 0 | 0 | สายอากาศ 1 |
| 2 | 5 | 0 | สายอากาศ 2 |
| 3 | 0 | 5 | สายอากาศ 3 |
| 4 | 5 | 5 | สายอากาศ 4 |

สุดท้ายในส่วนของการประมวลผลใช้ ESP8266 Wemos D1 mini pro ในการควบคุมสายอากาศโดยส่งสัญญาณควบคุมด้วยขา D1 (B) และ D2 (A) และเชื่อมต่อกับระบบสวิตช์อาร์เอฟด้วยจุดเชื่อมต่อสายอากาศภายนอก (External Antenna) จากนั้นการประมวลผลภายในจะใช้กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมแบบแมลงหวี่ปรับปรุง [12] ได้โดยพิจารณาสวิตช์ลำคลื่นไปในทิศทางที่มีค่าความแรงที่รับได้จากสายอากาศที่มีความแรงที่สุด ( *Smelli* สำหรับ MFOA)

จากวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบแมลงหวี่ได้พัฒนามาเป็นกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมแบบแมลงหวี่ปรับปรุง [11] ซึ่งมีการปรับปรุงด้วยการปรับเปลี่ยนจำนวนสมาชิกแบบสุ่มทุกรอบการทำงานและทำการแบ่งกลุ่มสมาชิกออกเป็น 2 กลุ่มเพื่อที่จะใช้หาค่าที่เหมาะสมใน 2 รูปแบบคือ ในพื้นที่ใกล้เคียงและในพื้นที่ห่างไกล จะทำให้กระบวนการค้นหานี้ไม่มีปัญหาการพบค่าที่เหมาะสมปลอมดังแสดงในรูปที่ 9 สามารถแสดงการทำงานในรูปแบบของโปรแกรมได้ดังนี้ [12]

1. กำหนดค่าเริ่มต้นของจำนวนการวนซ้ำ (K)

2. กำหนดค่าเริ่มต้นของกลุ่มสมาชิก (*P*)

3. กำหนดค่าตำแหน่งเริ่มต้นของพารามิเตอร์ *X-axis* และ *Y-axis* แบบสุ่ม

4. หาค่าทิศทางและระยะห่างสำหรับสมาชิกทุกตัวสำหรับการวนซ้ำรอบแรก

for *i* = 1 to *i* = *P*,

กลุ่มที่ 1

*Xi* = ค่าที่ได้จากการสุ่ม และ *Yi* = ค่าที่ได้จากการสุ่ม

กลุ่มที่ 2

*Xi* = *X-axis* + ค่าที่ได้จากการสุ่ม และ

*Yi* = *Y-axis* + ค่าที่ได้จากการสุ่ม

ประมาณค่าระยะห่างและคำนวณค่ากลิ่น smell concentration (S) โดย

 และ 

คำนวณค่า  และหาค่ากลิ่นที่ดีที่สุด

กำหนดค่ากลิ่นที่ดีที่สุดให้เป็น “bestSmell”

จัดเก็บค่าจุด  และ  ที่ดีที่สุด

end

5. จากนั้นจะเป็นลำดับการค้นหาโดยเริ่มจากรอบที่ 2 ไปจนถึงรอบสุดท้าย

ปรับจำนวนสมาชิกแบบสุ่ม

หาค่าทิศทางและระยะห่างสำหรับสมาชิกทุกตัว

for *i* = 1 to *i* = *P*,

กลุ่มที่ 1

*X*i = ค่าที่ได้จากการสุ่ม และ *Y*i = ค่าที่ได้จากการสุ่ม

กลุ่มที่ 2

*X*i = *X*-axis + ค่าที่ได้จากการสุ่ม

และ Yi = Y-axis + ค่าที่ได้จากการสุ่ม

ประมาณค่าระยะห่างและคำนวณค่ากลิ่น smell concentration (S) โดย

 และ 

คำนวณค่า  และหาค่ากลิ่นที่ดีที่สุด

ถ้าค่ากลิ่นที่ดีที่สุด มีค่าดีกว่าค่าเดิมก็จะทำการอัพเดตค่าดังกล่าว

กำหนดค่า  และ  เป็นค่าที่ดีที่สุดอันล่าสุด

จัดเก็บค่าจุด  และ  ที่ดีที่สุด

end

6. ทำซ้ำข้อที่ 5 จนกระทั้งพบค่าที่ดีที่สุดหรือจำนวนค่าการวนซ้ำจบลง

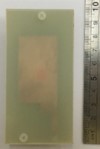


**รูปที่ 9** ลักษณะการทำงานของกระบวนการ  
หาค่าที่เหมาะสมแบบแมลงหวี่ปรับปรุง

**4. ผลการทดสอบระบบสายอากาศสวิตช์ลำคลื่น**

จากผลการจำลองในหัวข้อก่อนนี้ได้นำค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศมาสร้างเป็นสายอากาศต้นแบบจำนวน 4 ตัว เพื่อใช้เป็นองค์ประกอบย่อยของสายอากาศแถวลำดับแบบวงกลมจำนวน 4 องค์ประกอบ ด้วยแผ่นวงจรพิมพ์ชนิด FR4 หนา 3.2 mm ที่มีค่า  เท่ากับ 4.3 ดังแสดงในรูปที่ 10 ถัดมานำสายอากาศต้นแบบมาทดสอบค่า  ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 11(ก) จากผลที่ได้พบว่าค่า  มีค่าน้อยกว่า -10 dB ในช่วงความถี่ 2.4 ถึง 2.5 GHz ซึ่งผลของค่า

 ที่ได้มีความสอดคล้องกับผลการจำลองและถัดมาในรูปที่ 11(ข) แสดงผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศต้นแบบพบว่ามีลักษณะเป็นแบบชี้ทิศทางด้วยอัตราขยายเท่ากับ 6 dBi ที่ความถี่ 2.45 GHz และมีโพลาไรซ์แบบเชิงเส้น โดยแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ได้มีความสอดคล้องกับผลการจำลอง

(ก) ด้านหน้า (ข) ด้านหลัง

**รูปที่ 10** สายอากาศต้นแบบไมโครสตริปแผ่นสี่เหลี่ยมร่วมกับชั้นวางซ้อน



(ก) 

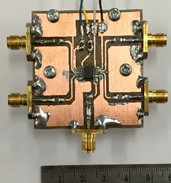


(ข) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

**รูปที่ 11** ผลการทดสอบของสายอากาศต้นแบบ

ไมโครสตริปแผ่นสี่เหลี่ยมร่วมกับชั้นวางซ้อน

จากผลการทดสอบของสายอากาศต้นแบบไมโคร  
สตริปแผ่นสี่เหลี่ยมร่วมกับชั้นวางซ้อนจำนวน 4 ตัว พบว่าทุกตัวมีคุณสมบัติเหมือนกันและสอดคล้องกับผลการจำลองทั้งหมด ซึ่งยืนยันได้ว่าสามารถนำไปประกอบเป็นองค์ประกอบย่อยของสายอากาศแถวลำดับวงกลม 4 องค์ประกอบ ได้แล้วจึงได้นำไปประกอบเป็นสายอากาศแถวลำดับวงกลม 4 องค์ประกอบ ร่วมกับระบบสวิตช์อาร์เอฟตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 12 และผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 13

**รูปที่ 12** การจัดวางองค์ประกอบย่อยของสายอากาศ  
แถวลำดับวงกลมจำนวน 4 องค์ประกอบ  
และระบบสวิตช์อาร์เอฟ



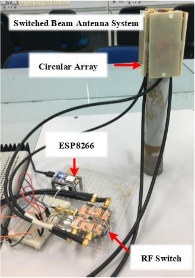
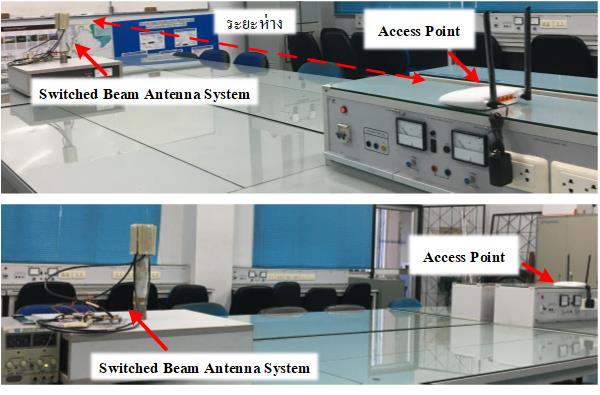
(ก) 



(ข) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

**รูปที่ 13** ผลการทดสอบของสายอากาศแถวลำดับวงกลม 4 องค์ประกอบ

เมื่อนำทุกส่วนมาประกอบกันเป็นระบบสายอากาศสวิตช์ลำคลื่นด้วยกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมแบบแมลงหวี่ปรับปรุงได้และทำการทดสอบการสวิตช์ลำคลื่นไปในทิศทางที่มีสัญญาณแรงที่สุดภายในสภาพแวดล้อมภายในอาคารดังแสดงในรูปที่ 14 ซึ่งในที่นี้จะใช้ Access Point ยี่ห้อ TP link รุ่น TP-WR841N [13] สำหรับส่งสัญญาณที่ระยะห่าง 4 m และทำการเปลี่ยนจุดส่งสัญญาณไปจำนวน 5 จุด จากผลที่ได้พบว่าระบบสายอากาศสวิตช์ลำคลื่นได้สามารถปรับลำคลื่นไปในทิศทางที่ถูกต้องได้เมื่อตัวส่งสัญญาณอยู่ในลำคลื่นหลักขององค์ประกอบย่อย แต่ในกรณีที่ตัวส่งสัญญาณอยู่ระหว่างลำคลื่นหลักขององค์ประกอบย่อยจะทำให้สายอากาศปรับลำคลื่นเกิดความผิดพลาดขึ้นดังแสดงในตารางที่ 3 ทั้งนี้กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมแบบแมลงหวี่ปรับปรุงที่ทำงานภายในระบบสายอากาศจะใช้เวลาในการลู่เข้าหาทิศทางที่ถูกต้องประมาณ 30 วินาที



**รูปที่ 14** ระบบสายอากาศปรับลำคลื่นด้วยกระบวนการ  
หาค่าที่เหมาะสมแบบแมลงหวี่ปรับปรุงและ  
การทดสอบปรับลำคลื่น

**ตารางที่ 3** ผลการทดสอบระบบสายอากาศสวิตช์ลำคลื่นด้วยกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมแบบแมลงหวี่ปรับปรุง

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ลำดับที่ | ตำแหน่งของตัวส่งสัญญาณ (องศา) | ทิศทางของระบบสายอากาศปรับลำคลื่น (องศา) |
| 1 | 0 | 0 |
| 2 | 90 | 90 |
| 3 | 180 | 180 |
| 4 | 270 | 270 |
| 5 | 45 | 90 |

**5. สรุป**

ระบบสายอากาศสวิตช์ลำคลื่นด้วยกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมแบบแมลงหวี่ปรับปรุงสามารถใช้งานในระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายในช่วงความถี่ 2.4 ถึง 2.5 GHz ได้โดยสายอากาศสามารถสวิตช์ลำคลื่นได้ 4 ทิศทาง ครอบคลุม 360 องศา ในระนาบมุมกวาด สายอากาศต้นแบบมีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ 50 Ω มีค่า |*S*11| น้อยกว่า   
-10 dB ตลอดช่วงความถี่ใช้งาน และจากผลการสร้างและทดสอบระบบสายอากาศพบว่าสามารถปรับลำคลื่นไปในทิศทางที่ถูกต้องได้เมื่อตัวส่งสัญญาณอยู่ในทิศทางของ  
ลำคลื่นหลักขององค์ประกอบย่อยและจะเกิดความผิดพลาดเมื่อตัวส่งสัญญาณอยู่ระหว่างลำคลื่นหลักขององค์ประกอบย่อย อีกทั้งกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมแบบแมลงหวี่ปรับปรุงที่ทำงานภายในสามารถควบคุมการสวิตช์ลำคลื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพและใช้เวลาในการลู่เข้าหาทิศทางที่ถูกต้องประมาณ 30 วินาที

**6. เอกสารอ้างอิง**

[1] H. Wang, Z. Zhang, Y. Li and M. F. Iskander, “A Switched Beam Antenna with Shaped Radiation Pattern and Interleaving Array Architecture,” IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 63, No. 7, pp. 2914 – 2921, July 2015.

[2] S. Swaisaenyakorn, A. J. Cole, C. C. H. Ng and P. R. Young, “Conformal Switched Beam Antenna,” Loughborough Antennas & Propagation Conference(LAPC), pp. 1 – 4, November 2016.

[3] M. K. A. Rahim, M. N. M. Salleh, O. Ayop and T. Masri, “Switched Beam Antenna System Design,” IEEE International RF and Microwave Conference, pp. 302 – 305, December 2008.

[4] M.-I. Lai, T.-Y. Wu, J.-C. Hsieh, C.-H. Wang and S.-K. Jeng, “Compact Switched-Beam Antenna Employing a Four-Element Slot Antenna Array for Digital Home Applications,” IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 56, No. 9, pp. 2929 – 2936, September 2008.

[5] M. F. E. Basari, T. Purnomo, T. Noro, K. Houzen, M. Saito, Takahashi and K. Ito, “Simple Switched-Beam Antenna System for Mobile Satellite Applications,” IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, pp. 1 – 4, July 2008.

[6] V. Ludwig-Barbosa, E. Schlosser, R. Machado, F. G. Ferreira, S. M. Tolfo and M. V. T. Heckler, “Linear Array Design with Switched Beams for Wireless Communications Systems,” International Journal ofAntennas and Propagation, Volume 2015, Article ID 278160, pp. 1 – 9, April 2015.

[7] H. N. Dao, M. Krairiksh and D. T. Le, “A Design of Switched-Beam Yagi-Uda Antenna for Wireless Sensor Networks,” International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC), pp. 393 – 396, October 2016.

[8] P. Chaipanya, P. Rattanakriengkai, P. Potup and L. Lapourailers, “A Dual-Band Single-Feed Switched Beam Antenna for WLAN,” International Journal of Electronics and Telecommunications, Vol. 63, No. 4, pp. 405 – 408, September 2017.

[9] Y. Zhang and K. Psounis, “Consistently High MIMO Rates via Switched-Beam Antennas,” IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 26, No. 5, pp. 2320 – 2333, October 2018.

[10] S. Kawdungta, P. Jaibanauem, R. Pongga and C. Phongcharoenpanich, “Superstrate-integrated Switchable Beam Rectangular Microstrip Antenna for Gain Enhancement,” Radioengineering, Vol. 26, No. 2, pp. 430 – 437, June 2017.

[11] CST Studio Suite 3D EM Simulation and Analysis Software.

[12] N. Mhudtongon, C. Phongcharoenpanich and S. Kawdungta, “Modified Fruit Fly Optimization Algorithm for Analysis of Large Antenna Array,” International Journal of Antennas and Propagation, vol. 2015, Article ID 124675, 11 pages, March 2015.

[13] TP Link User Guide, “300Mbps Wireless N Router TL-WR841N,” version 14.0.