

การพัฒนาสายอากาศรูปทรงพาราโบลิคบนระบบเครือข่ายเฉพาะกิจ

Ad hoc networking with parabolic antenna

พรหมเมศ วีระพันธ์¹ และ กนกวรรณ เขียววัน^{2*}

Phrommate Verapan¹ and Kanokwan Khiewwan^{2*}

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำเสนอผลการทดลองการคำนวณหาจุดศูนย์กลางรวมสัญญาณเพื่อให้ได้กำลังส่งที่มีระยะมากขึ้นกว่าค่ามาตรฐานของอุปกรณ์ที่นำมาต่อเป็นระบบเครือข่ายเฉพาะกิจ โดยระบบเครือข่ายนี้ใช้บอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กราคาเบอริ์ไพสร้างเป็นโหนดในการรับส่งข้อมูล ผู้วิจัยได้สร้างสายอากาศชนิดทรงพาราโบลิคด้วยการนำวัสดุทรงโค้งในขนาดที่แตกต่างกันมาทดลอง ผลการทดลองพบว่าอัตราขยายสัญญาณแปรผันตรงกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และวัสดุที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 36 เซนติเมตร ที่นำมาทดลองสามารถรับส่งข้อมูลบนเครือข่ายเฉพาะกิจได้ในระยะส่งประมาณ 2 กิโลเมตร อัตราขยายอยู่ที่ -85 dBm ความเร็วในการรับส่งอยู่ที่ 28.57 นาทีที่ขนาดไฟล์ 1000 เมกะไบต์ บนพื้นฐานเส้นทางระนาบที่ไร้สิ่งกีดขวาง

คำสำคัญ: เครือข่ายเฉพาะกิจ สายอากาศรูปทรงพาราโบลิค ราคาเบอริ์ไพ

Abstract

The article aims to present the experimental results of calculation of signal focus in order to find out the signal power which was higher than equipment standard of the ad-hoc network connection. The various sizes of particular curved materials were used to develop the experimental parabolic antennas. It was found that the signal amplifier ratio directly varied to diameter sizes. In addition, 36 cm-diameter material was able to transfer data in the ad-hoc network within the radius of 2 kilometre with amplifier ratio at -85 dBm. The best result took 28.57 minutes to transfer a 1000 MB file on flat area without obstacles.

Keywords: ad-hoc network, parabolic reflector, raspberry pi

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร กำแพงเพชร 62000

¹ Information Technology Department, Faculty of Science and Technology, Kamphaeng Phet Rajabhat University, Kamphaeng Phet 6200

² สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร กำแพงเพชร 62000

² Computer Technology Department, Faculty of Science and Technology, Kamphaeng Phet Rajabhat University, Kamphaeng Phet 6200

* Corresponding author. E-mail: kkanokwan@hotmail.com

บทนำ

การแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างอุปกรณ์คอมพิวเตอร์สองตัวนั้นจะกระทำผ่านระบบเครือข่ายทั้งแบบสายสัญญาณและแบบไร้สายสัญญาณ โดยในปัจจุบันอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายสัญญาณถูกพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ทำให้ความเร็วในการรับส่งข้อมูลมีมากขึ้น มีการประยุกต์นำอุปกรณ์ส่งสัญญาณไร้สายมาต่อเป็นระบบเครือข่ายได้หลายรูปแบบ หนึ่งในนั้นได้แก่ระบบเครือข่ายเฉพาะกิจ (ad-hoc network) ข้อดีของระบบเครือข่ายเฉพาะกิจคือสามารถใช้ได้ในสถานที่ที่ไม่มีโครงสร้างพื้นฐาน (Sandoval G. et al., 2012) เช่น เมื่อผู้วิจัยต้องการออกพื้นที่ที่ไม่มีระบบเครือข่ายรองรับเพียงแค่เตรียมอุปกรณ์คอมพิวเตอร์เคลื่อนที่ที่สามารถรับส่งสัญญาณไร้สายได้จะสามารถติดตั้งระบบเฉพาะกิจเพื่อใช้งานแลกเปลี่ยนข้อมูลกันได้ เป็นต้น

ในการออกพื้นที่เพื่อทำการเก็บข้อมูลวิจัยภายนอก อุปกรณ์คอมพิวเตอร์มีขนาดใหญ่ทำให้บางครั้งอาจไม่สะดวกในการพกพา แต่ปัจจุบันมีบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กชื่อว่า Rasberry Pi มีขนาดเพียง 85×63 มิลลิเมตรหนัก 45 กรัม ลักษณะเป็น single board computer ที่ประกอบไปด้วยหน่วยประมวลผลกลาง หน่วยความจำหลัก ช่องสำหรับต่ออุปกรณ์รับข้อมูลเข้าและส่งออก ทำให้บอร์ดนี้มีความสามารถใกล้เคียงกับเครื่องคอมพิวเตอร์และสามารถลงระบบปฏิบัติการทำให้เกิดความสะดวกต่อการใช้งานเพื่อเก็บข้อมูลได้ ผู้วิจัยจึงได้ทดลองตั้งสถานีเครือข่ายเฉพาะกิจด้วยบอร์ด Rasberry Pi พบว่าสามารถติดตั้งระบบและแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กนี้ได้ แต่ปัญหาที่พบจากการส่ง

ข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายไร้สายแบบเฉพาะกิจคือระยะการส่งที่จำกัด โดยพบว่าอุปกรณ์ส่งสัญญาณไร้สายชนิด USB (wireless USB) แบบ IEEE 802.11 n มีระยะในการรับส่งในพื้นที่โล่ง 250 เมตรและภายในอาคารประมาณ 70 เมตร จากการศึกษาในระบบการส่งสัญญาณทางไกลพบว่าสายอากาศ (antenna) มีคุณสมบัติในการรับส่งสัญญาณของความถี่ย่านไมโครเวฟซึ่งมีลักษณะคล้ายแสง ซึ่งสายอากาศสามารถเพิ่มอัตราขยายสัญญาณได้ (Zhou et al., 2015) สายอากาศชนิดทรงพาราโบลิกเป็นหนึ่งในสายอากาศที่สามารถเพิ่มอัตราขยายสัญญาณ โดยการนำสายอากาศมาติดตั้งร่วมกับแผ่นสะท้อนคลื่นทรงพาราโบลิกเพื่อเกิดการรวมคลื่นที่จุดโฟกัสให้ได้คลื่นที่มีอัตราการขยายสูง (Milligan, 2005) ด้วยเหตุผลดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีวัตถุประสงค์ที่จะพัฒนาสายอากาศทรงพาราโบลิกอย่างง่าย เพื่อขยายสัญญาณในระบบเครือข่ายเฉพาะกิจที่ระยะของโหนดอยู่ห่างกัน และใช้เป็นต้นแบบในการส่งข้อมูลระยะไกลต่อไป

สายอากาศชนิดทรงพาราโบลิก

สายอากาศชนิดทรงพาราโบลิก คือสายอากาศรูปโค้งมีรูปร่างตัดของรูปโค้งให้ตรงคลื่นวิทยุ รูปแบบที่พบบมากที่สุดคือมีรูปร่างเหมือนจาน ประโยชน์หลักของสายอากาศพาราโบลิกคือ การส่งที่มีทิศทางทำหน้าที่คล้ายกับไฟฉาย เพื่อฉายหรือสะท้อนให้ตรงคลื่นวิทยุในลักษณะคลื่นมุมแคบ สายอากาศตัวสะท้อนพาราโบลิก เป็นสายอากาศที่ได้รับความนิยมสูงสุดสำหรับใช้งานในระบบเรดาร์ เนื่องจากสายอากาศตัวสะท้อนพาราโบลิกสามารถออกแบบให้มีค่าอัตราขยายที่มากกว่า 30 dBm

ในย่านความถี่ไมโครเวฟหรือย่านความถี่ที่สูงกว่า (รังสรรค์, 2557) ด้วยหลักการที่ใช้ตัวสะท้อน พาราโบลิกทำหน้าที่ในการรับส่งคลื่น และมีสายอากาศส่วนป้อน (feed antenna) ขนาดเล็กที่ใช้สำหรับป้อนสัญญาณให้กับผิวสะท้อนพาราโบลิก โดยสายอากาศส่วนป้อนจะถูกติดตั้งอยู่ที่ตำแหน่งของจุดโฟกัส

ความยาวคลื่นของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นพลังงานต่อเนื่องที่มีค่าความยาวของช่วงคลื่นหลายเมตรถึงเศษส่วนของพันล้านเมตร เป็นคลื่นที่ประกอบด้วยสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า ซึ่งมีความสามารถในการถ่ายเทพลังงานจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง เรื่องของเวลาในการเดินทางคลื่นมีความเร็วเท่าความเร็วแสง (c) ระยะทางจากยอดคลื่นถึงยอดคลื่นถัดไปเรียกว่าความยาวคลื่น (λ) และจำนวนยอดคลื่นที่เคลื่อนผ่านจุดคงที่จุดหนึ่งต่อหน่วยเวลาเรียกว่าความถี่คลื่น (f) ซึ่งสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$



(a)

เมื่อ λ = ความยาวคลื่น
 c = ความเร็วคลื่นมีค่าคงที่เท่ากับ 3×10^8 เมตร/วินาที
 f = ความถี่ของคลื่น รอบ/วินาที (Hertz)

อัตราการขยายของสายอากาศ

อัตราการขยายของสายอากาศขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจานในหนึ่งหน่วยความยาวคลื่น ถ้าเส้นผ่านศูนย์กลางมีค่ามาก อัตราขยายจะเพิ่มความสัมพันธ์ของอัตราขยายสายอากาศกับเส้นผ่านศูนย์กลาง ของจานรับสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\text{อัตราขยาย} = 6 \left(\frac{D}{\lambda} \right)^2 \quad (2)$$

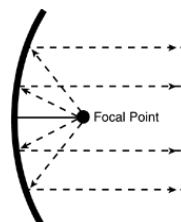
เมื่อ D = เส้นผ่านศูนย์กลางของวัสดุที่นำมาทดลองมีหน่วยเป็นเมตร

วิธีการศึกษา

วัสดุอุปกรณ์

วัสดุและอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้ประกอบด้วย

- 1) บอร์ดราสเบอรี่ ไพ จำนวน 2 ชุด 2) wireless USB มาตรฐาน IEEE 802.11 n 3) ระบบปฏิบัติการลินุกซ์เดเบียนและ 4) วัสดุทรงพาราโบลิกดัง (Figure 1) เพื่อสร้างเป็นสายอากาศ



(b)

Figure 1 The parabolic materials.

(Figure 1a) เป็นภาพการสร้างสายอากาศด้วยวัสดุทรงพาราโบลิคที่มีลักษณะเป็นทรงโค้ง เหตุผลที่นำวัสดุทรงนี้มาสร้างสายอากาศเนื่องจากวัสดุทรงโค้งเป็นวัสดุรับและสะท้อนสัญญาณรวมไว้จุดเดียวได้ ซึ่งตรงกับนิยามของรูปทรงพาราโบลิคที่กล่าวไว้ข้างต้น ส่วนที่อยู่ตรงกลางวงและยื่นออกมาเรียกว่าก้านและส่วนที่อยู่ปลายก้านจะใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณไร้สายชนิด USB มาติดตั้ง

(Figure 1b) เป็นการจำลองลักษณะการส่งคลื่นสัญญาณจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณไร้สายชนิด USB ไปยังวัสดุเพื่อให้สะท้อนไปยังเป้าหมาย

เมื่อเตรียมเครื่องมือในการทดลองครบถ้วนแล้วผู้วิจัยได้ทำการทดลองโดยมีขั้นตอนดังนี้

ศึกษาวิธีการติดตั้งระบบเครือข่ายเฉพาะกิจและทดลองส่งข้อมูลระหว่างโหนด

ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษากการติดตั้งระบบเครือข่ายเฉพาะกิจบนบอร์ดราสเบอรี่ไพ โดยใช้ระบบปฏิบัติการลินุกซ์เดเบียน จากนั้นทดลองส่งข้อมูลผ่านอุปกรณ์ส่งสัญญาณไร้สายชนิด USB แบบที่ยังไม่ติดตั้งสายอากาศขยายสัญญาณ ซึ่งอัตราการส่งของอุปกรณ์อยู่ที่ระยะ 100 เมตร ทดลองส่งไฟล์ข้อมูลขนาด 100, 300, 500, 700, 900 และ 1000 เมกกะไบต์ตามลำดับ ผลลัพธ์ที่ได้ดัง (Table 1)

Table 1 Time for sending the various files in 100 meters (unit: minute).

100 MB	300 MB	500 MB	700 MB	900 MB	1000 MB
1.49	5.27	9.05	12.44	16.21	18.12

สร้างสายอากาศชนิดทรงพาราโบลิค

ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้สร้างสายอากาศด้วยวัสดุทรงโค้ง 4 ขนาด ได้แก่ ขนาด 18, 22, 24 และ 36 เซนติเมตร เนื่องจากหาง่ายและขนาดพอเหมาะต่อการเคลื่อนย้ายไปนอกสถานที่ เมื่อได้ขนาดวัสดุที่จะนำมาทดสอบแล้วขั้นตอนต่อไปทำการหาความถี่ของคลื่นจากสมการที่ (1) ได้ผลลัพธ์ 0.125 โดยกำหนดค่า f เท่ากับ 2.4 GHz เนื่องจากเป็นย่านความถี่ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณไร้สายที่นำมาทดลองกำลังส่งของอุปกรณ์ไร้สายที่นำมาทดลองมีหน่วยเป็นเดซิเบล (dBm) มีค่าปริยายของอุปกรณ์อยู่ที่ -85 dBm จากข้อมูลทั้งหมดนี้ผู้วิจัยได้นำไปทดลองติดตั้งสายอากาศและหาอัตราขยายเพื่อดูว่าค่า dBm จะเพิ่มขึ้นกว่าเดิมหรือไม่ เนื่องจากค่า dBm ที่เข้าใกล้ 0 จะหมายถึงอัตรากำลังส่งสัญญาณสูง ถ้า dBm ของการทดลองสูงขึ้นไปกว่า -85 แสดงว่าอัตรากำลังส่งสัญญาณจะสูงตามไปด้วย (Table 2) แสดงอัตราขยายของวัสดุแต่ละขนาดโดยคำนวณได้จากสมการที่ (2) ซึ่งการขยายสัญญาณนี้เมื่อลองนำไปทดสอบดูผลลัพธ์ที่ได้จะให้ค่า dBm ดัง (Table 4)

Table 2 Gain.

material size (cm)	18	22	24	36
growth rate	12.442	18.586	22.118	49.766

จาก (Table 2) พบว่า เมื่อขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางยาวขึ้นอัตราการขยายสัญญาณจะเพิ่มขึ้นหมายความว่าอัตราการขยายสัญญาณแปรผันตรงกับขนาดของวัสดุ แต่ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าวัสดุขนาด 36 เซนติเมตร ดีที่สุดเนื่องจากจะต้องทดลองติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณที่วัสดุขนาดต่างๆ แล้วทดลองส่งข้อมูล

คำนวณหาจุดโฟกัสของวัสดุแต่ละขนาด

ขั้นตอนนี้จะเริ่มจากการหาจุดที่ลึกที่สุดเนื่องจากจะเป็นจุดศูนย์กลางสำหรับติดตั้งก้านสายอากาศดัง (Figure 2)

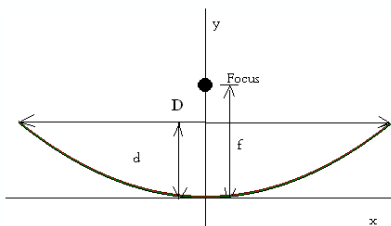


Figure 2 The antenna point.

(Figure 2) แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดวัสดุ ความลึก และตำแหน่งที่จะวางจุดโฟกัส ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้ (ประพล, 2549)

$$d = \frac{\left(\frac{D}{2}\right)^2}{4f} \quad (3)$$

เมื่อ f = ค่าจุดโฟกัสที่ติดตั้ง wireless USB

d = ความลึกของสายอากาศพาราโบลิค

D = เส้นผ่านศูนย์กลางทรงพาราโบลิค

ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างจุดโฟกัส ความกว้างของจาน และตำแหน่งที่วางก้านสายอากาศเท่ากับ

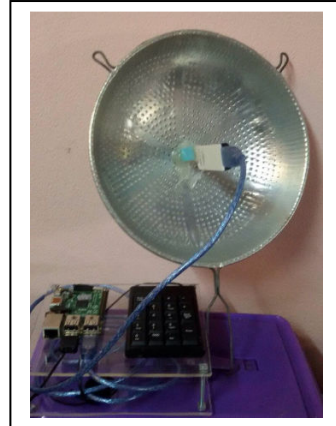
$$f = \frac{D^2}{(16 \times d)} \quad (4)$$

เมื่อคำนวณหาจุดโฟกัสเพื่อติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณไร้สายแบบ USB แล้วผู้วิจัยได้ทดลองนำอุปกรณ์มาทดสอบรับส่งสัญญาณ ซึ่งมีวิธีดังนี้

1. หาสถานที่ที่เป็นแนวตรงหรือพื้นที่โล่ง มีระยะทางตามที่ต้องการ
2. แต่ละสถานีมีเครื่องวัดระยะทาง เครื่องวัดมุมติดตั้งจานดาวเทียมและ GPS กำหนดพิกัด เพื่อกำหนดให้ตำแหน่งของทั้งสองสถานีอยู่ในทิศทางและระนาบเดียวกัน จากนั้นทดสอบจับกำลังส่งสัญญาณด้วย Wi-Fi analyzer ค่าที่ได้มีหน่วยเป็น dBm ผลลัพธ์แสดงในรูปค่าติดลบ
3. ทดลองส่งไฟล์ข้อมูลขนาดต่างๆ พร้อมจดบันทึก



(a)



(b)

Figure 3 The model and the experimental materials.

(Figure 3) แสดงการวางอุปกรณ์ในการทดลองโดย (Figure 3a) เป็นต้นแบบการต่ออุปกรณ์ที่ยังไม่ประกอบกับก้านและเสา โดยถ้าต้องการใช้งานบอร์ดราสเบอร์รี่ ไพ จะมีแป้นพิมพ์และจอภาพมาต่อพ่วงเพื่อทำการส่งการอีกครั้ง (Figure 3b) ทีมงานกำลังตั้งค่าอุปกรณ์และหาตำแหน่งการวางสถานี ซึ่งการทดลองครั้งนี้ทดลองกับพื้นที่โล่งริมถนน

ผลการศึกษา

จากการทดลองติดตั้งสายอากาศและทดลองส่งไฟล์ขนาดต่างๆ ผู้วิจัยได้จดบันทึกและได้ผลการทดลองดัง (Table 3-5) ดังนี้

Table 3 Focus of the various materials (unit: cm).

Material size	18	22	24	36
focus	4	4.5	4.3	3.5

(Table 3) แสดงถึงจุดโฟกัสของวัสดุแต่ละขนาดเพื่อหาความยาวและติดตั้งก้านสำหรับอุปกรณ์ส่งสัญญาณไร้สาย ซึ่งการหาจุดโฟกัสสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3) ผลการจดบันทึกกำลังส่งของอุปกรณ์ส่งไร้สายที่ติดตั้งสายอากาศเพื่อขยายสัญญาณจะได้ผลลัพธ์ดัง (Table 4)

Table 4 The record of the transmit (unit: dBm).

material size (centimeters)	distance 500 1000 1500 2000 (meters)			
18	-70	-86	-93	-
22	-63	-78	-82	-97
24	-58	-62	-79	-88
36	-49	-63	-77	-85

(Table 4) พบว่าวัสดุขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 36 เซนติเมตร ให้อัตรา dBm สูงสุดเกือบทุกระยะทาง คือเข้าใกล้ 0 มากกว่าวัสดุขนาดอื่น ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จาก (Table 2) ที่บอกว่าสายอากาศขนาดนี้ให้อัตราขยายสูงสุด ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกที่จะนำวัสดุ

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 36 เซนติเมตร เป็นเป้าหมายและนำมาทดสอบส่งไฟล์ข้อมูลขนาด 100, 300, 500, 700, 900 และ 1000 เมกะไบต์ เพื่อหาความเร็วในการส่งไฟล์ ผลการทดลองจะได้ดัง (Table 5)

Table 5 Time for sending files 100, 300, 500, 700 and 1,000 MB of the materials 36 cm (unit: minute).

file (MB)	distance (meter)			
	500	1000	1500	2000
100	1.37	1.56	2.25	2.54
300	4.43	5.39	7.41	8.29
500	7.54	9.28	11.51	14.13
700	11.14	13.28	16.51	20.13
900	14.08	16.58	21.12	25.27
1000	15.47	18.56	23.42	28.57

(Table 5) แสดงถึงเวลาในการส่งไฟล์ขนาด 100, 300, 500, 700, 900 และ 1000 เมกะไบต์ของวัสดุขนาด 36 เซนติเมตร จากผลที่แสดงในตารางจะพบว่าความเร็วแปรผันตรงกับขนาดและระยะทางในการส่งไฟล์ข้อมูลคือไฟล์ขนาดเท่ากันแต่ระยะทางเพิ่มขึ้นจะใช้เวลามากขึ้น

อภิปรายผล

เหตุผลที่วัสดุที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 36 เซนติเมตรให้อัตรากำลังส่งดีที่สุด อาจเนื่องมาจากขนาดที่ใหญ่ทำให้มีพื้นที่ในการติดตั้งสัญญาณได้ดีกว่าวัสดุที่มีขนาดเล็ก และเมื่อขยายสัญญาณแล้วเวลาในการรับส่งไฟล์เร็วกว่านั้น อาจเนื่องจากสัญญาณที่ถูขยายมีกำลังส่งมากขึ้น ทำให้อัตราการรับส่งไฟล์สูงขึ้นตามไปด้วย เหตุผลที่

ใช้วัสดุสูงสุดอยู่ที่ 36 เซนติเมตร เนื่องจากเป็นขนาดที่หาได้ง่าย ไม่ต้องสั่งทำหรือขึ้นรูปเอง การทดลองครั้งนี้จำเป็นต้องหาวัสดุที่หาง่ายและพกพาได้สะดวก ปัญหาที่พบในการทดลองคือพื้นที่ที่ใช้ทดลองเป็นถนนโล่งแต่ระดับพื้นไม่เสมอกันทำให้การติดตั้งค่อนข้างลำบาก สิ่งที่ต้องทำต่อคือหาว่าวัสดุที่มีความไวสัญญาณสูงกว่าวัสดุที่นำมาทดลองครั้งนี้ หรือทดสอบว่าวัสดุชนิดเดียวกันนี้ขนาดที่สะท้อนสัญญาณได้ดีและราคาเหมาะสมที่สุดอยู่ที่เท่าไร เนื่องจากถ้าขนาดใหญ่มากราคาจะยิ่งแพงมากขึ้น โดยจะต้องทดลองในพื้นที่ที่มีสิ่งกีดขวางแบบต่างๆ เช่น อาคาร ต้นไม้ หรือสภาพการใช้งานจริง เป็นต้น

สรุป

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า อัตราขยายของสัญญาณจะขึ้นอยู่กับขนาดของวัสดุที่นำมาทดลอง วัสดุที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่จะให้อัตราขยายได้ดีกว่า ซึ่งการทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทดลองนำวัสดุที่เป็นเหล็กขนาดแตกต่างกัน 4 ขนาดมาทดลอง พบว่าวัสดุที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 36 เซนติเมตร ให้อัตราขยายได้ดีที่สุดในส่วนของความเร็วในการส่งไฟล์ของวัสดุขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 36 เซนติเมตร พบว่าขนาดความเร็วแปรผันตรงกับขนาดไฟล์ และเมื่อเทียบ (Table 1) ซึ่งยังไม่ติดตั้งสายอากาศขยายสัญญาณกับ (Table 5) ที่ติดตั้งสายอากาศขยายสัญญาณ พบว่าในระยะ 500 เมตรของ (Table 5) ใช้เวลาในการส่งไฟล์ทุกขนาดข้อมูลเร็วกว่าระยะ 100 เมตร ของ (Table 1)

เอกสารอ้างอิง

- ประพล จาระตะคุ. 2549. ระบบเครื่องรับส่งความถี่ 2.45 GHz สำหรับเชื่อมต่อโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายแบบจุดต่อจุด. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.
- รังสรรค์ วงศ์สวรรค์. 2557. สายอากาศอัตราขยายสูงและน้ำหนักเบาสำหรับระบบเรดาร์โดยใช้ปากแต่ครอบด้วยโพรงช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้ารูปทรงกระบอก. รายงานการวิจัย. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.
- Milligan, T. 2005. Modern antenna design. John Wiley & Sons, New Jersey.
- Sandoval, G., E.I., C.E. Galvan T. and J.I. Galvan-Tejada. 2012. Multicast routing and interoperability between wired and wireless ad hoc network. *Procedia Eng.* 35: 109-117.

- Zhou, H., M. Jong and G. Lo. 2015. Evolution of satellite communication antennas on mobile ground terminals. *Int J Antennas Propag.* 2015: 1-14.