สายอากาศระนาบย่านความถี่คู่สำหรับประยุกต์ใช้งานโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายและแถบความถี่กว้างยิ่งยวด

Dual-Band Planar Antenna for WLAN and Ultra Wide Band Applications

ประพัทธ์ อานมณี พิชชานันท์ วงศ์ศิริธร
สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบสายอากาศแพทช์แบบร่องรูปตัวซีย่านความถี่คู่สำหรับประยุกต์ใช้งานโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายและแถบความถี่กว้างยิ่งยวด สายอากาศจะถูกสร้างขึ้นบนแผ่นวงจรพิมพ์ชนิด Rogers RT5880LZ ขนาด 46x48 ตารางมิลลิเมตร มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ε_r) เท่ากับ 1.96 หนา 1.27 มิลลิเมตร โดยสายอากาศมีค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ต่ำกว่า -10 dB สองย่านความถี่ ตั้งแต่ 2.33 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 2.48 กิกะเฮิรตซ์ และ 3.04 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 11.53 กิกะเฮิรตซ์ มีอัตราขยายเท่ากับ 1.64 dBi 1.26 dBi 1.82 dBi และ 1.28 dBi ที่ความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ 3.5 กิกะเฮิรตซ์ 7 กิกะเฮิรตซ์ และ 10 กิกะเฮิรตซ์ ตามลำดับ คุณสมบัติของสายอากาศที่นำเสนอเหมาะสมกับการนำไปใช้งานในระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายและแถบความถี่กว้างยิ่งยวด

คำสำคัญ : สายอากาศระนาบ, ย่านความถี่คู่, โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย, แถบความถี่กว้างยิ่งยวด

Abstract

This research presents a dual band c-shaped slot patch antenna for wireless local area network & ultra wide band applications. This antenna is fabricated on Rogers RT5880LZ substrate with the size of 46x48 mm^2 with the dielectric constant of 1.96 (ε_r = 1.96) and the thickness of 1.27 mm. The proposed antenna is designed to operate for the dual frequency from 2.33 GHz to 2.48 GHz and 3.04 GHz to 11.53 GHz with the $|S_{11}|$ of less than -10 dB. The antenna gains are 1.64 dBi, 1.26 dBi, 1.82 dBi and 1.28 dBi, at 2.4 GHz, 3.5 GHz, 7 GHz and 10 GHz, respectively. The proposed antenna characteristics are appropriated for wireless local area network & ultra wide band technology.

Keywords : Planar Antenna, Dual-Band, Wireless Local Area Network, Ultra Wide Band

1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากประโยชน์ของการสื่อสารไร้สายมีอยู่มากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสื่อสารไร้สายสร้างความสะดวก อิสระในการใช้งานและการติดตั้งเครือข่าย เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายทำให้การเชื่อมต่ออุปกรณ์คอมพิวเตอร์ในบ้านหรือสำนักงานเข้าด้วยกันหรือต่อเข้ากับเครือข่าย โดยไม่จำเป็นจะต้องใช้สายนำสัญญาณใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเชื่อมต่อ ซึ่งอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ทั้งแบบตั้งโต๊ะและพกพาสามารถเชื่อมต่อถึงกันหรือเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายจากตำแหน่งต่างๆ ที่อยู่ในรัศมีของการรับสัญญาณได้อย่างอิสระเทคโนโลยีสำหรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ ผ่านระบบสื่อสารไร้สายที่รู้จักกันมีอยู่หลายเทคโนโลยี เช่น Bluetooth, IEEE 802.11, IrDA, HiperLAN, HomeRF และ GPRS เป็นต้น แต่เทคโนโลยีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุดสำหรับการสื่อสารไร้สายคือเทคโนโลยีโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Local Area Network; WLAN) ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 เนื่องจากอุปกรณ์ IEEE 802.11 WLAN มีราคาไม่แพงนักและมีแนวโน้มลดลงอีกทั้งมีสมรรถนะในการรับส่งข้อมูลค่อนข้างสูง ง่ายต่อการติดตั้งและใช้งาน IEEE 802.11 WLAN จึงได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายมากขึ้น [1]

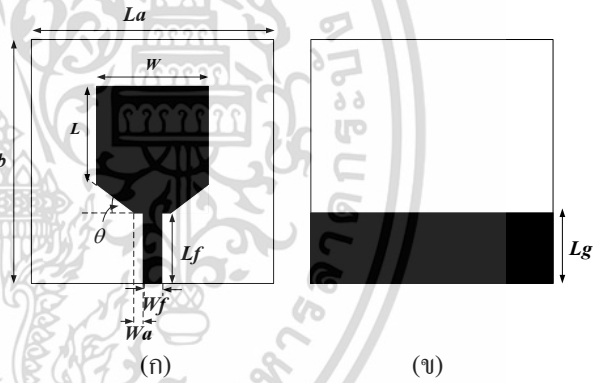
ระบบสื่อสารแถบความถี่กว้างยิ่งยวด (Ultra Wideband; UWB) ได้รับความสนใจมากยิ่งขึ้น โดยเทคโนโลยีแถบความถี่กว้างยิ่งยวดเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่แตกต่างจากเทคโนโลยี WLAN หรือ Bluetooth ที่เป็นการส่งผ่านคลื่นวิทยุความถี่แคบ ดังนั้นการส่งผ่านคลื่นวิทยุความถี่กว้างทำให้สามารถถ่ายโอนข้อมูลจำนวนมากได้ในระยะทางสั้นๆ แต่กลับใช้พลังงานในระดับต่ำเพียง 0.0001 mW/MHz นอกจากนี้ภายในระยะทาง 10 เมตร แถบความถี่กว้างยิ่งยวดยังสนับสนุนการสร้างพื้นที่โครงข่ายสื่อสารส่วนบุคคล (Personal Area Network; PAN) ซึ่งช่วยให้เราสามารถจัดการข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ต่างๆที่เคลื่อนที่ไปมาได้อย่างหลากหลาย และแถบความถี่กว้างยิ่งยวดยังได้รับการวางตำแหน่งในฐานะเทคโนโลยีที่สามารถใช้ประสิทธิภาพของคลื่นความถี่ได้คุ้มค่าที่สุด และระบบสื่อสารแถบความถี่กว้างยิ่งยวดจะเข้ามาช่วยลดปัญหาความขาดแคลนของช่องความถี่ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต [2] อีกด้วย

การออกแบบอุปกรณ์ที่สามารถรองรับเทคโนโลยีทั้งสองระบบเป็นสิ่งที่น่าสนใจ ในบทความวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบสายอากาศย่านความถี่คู่ที่สามารถตอบสนองเทคโนโลยีในระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายและแถบความถี่กว้างยิ่งยวด ข้อดีของสายอากาศย่านความถี่คู่คือสามารถกำหนดเฉพาะย่านความถี่ที่ต้องการนำไปใช้งานได้โดยตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ที่ต้องการนำไปใช้งาน [3] [4]

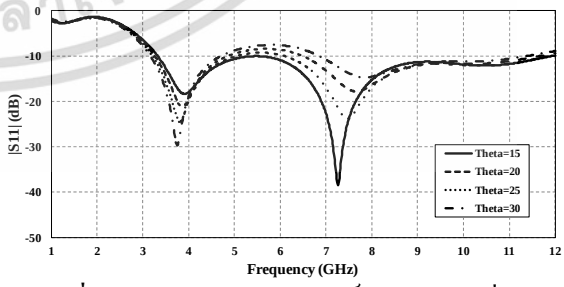
2. การออกแบบ

2.1 สายอากาศแถบความถี่กว้างยิ่งยวด

ในขั้นตอนเริ่มต้นของการออกแบบสายอากาศจะอยู่บนพื้นฐานการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นสี่เหลี่ยมที่ป้อนสัญญาณด้วยสายนำสัญญาณไมโครสตริป [5] บนวัสดุชนิด Rogers RT5880LZ มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกเท่ากับ 1.96 หนา 1.27 มิลลิเมตร โดยเริ่มต้นออกแบบให้สายอากาศตอบสนองที่ความถี่กว้างยิ่งยวด (3.1 ถึง 10.6 GHz) [6] ทำการลดขนาดระนาบกราวนด์เพื่อให้สายอากาศสามารถตอบสนองได้ในความถี่กว้างและทำการดัดแปลงแผ่นสี่เหลี่ยมโดยการเพิ่มมุม θ ดังแสดงในรูปที่ 1 ดังนี้



รูปที่ 1: โครงสร้างสายอากาศที่ทำการดัดแปลงแผ่นสี่เหลี่ยม (ก) ด้านหน้า (ข) ด้านหลัง



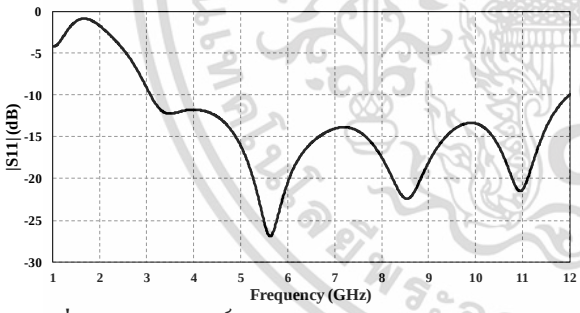
รูปที่ 2: เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การสะท้อนเมื่อปรับเปลี่ยนมุม θ

รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างสายอากาศที่ทำการดัดแปลงแผ่นสี่เหลี่ยมเมื่อ La และ Lb คือความกว้างและความยาวของสายอากาศ W และ L คือความกว้างและความยาวของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผ่นสี่เหลี่ยม *Wf*, และ *Lf* คือความกว้างและความยาวของสายนำสัญญาณ *Wa* คือระยะระหว่างสายนำสัญญาณกับมุม θ และ *Lg* คือความสูงของระนาบกราวนด์ โดยทำการจำลองผลบนโปรแกรมจำลองทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

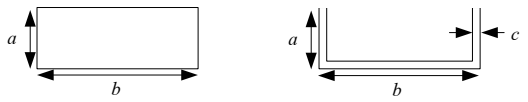
จากรูปที่ 2 พารามิเตอร์ θ มีผลต่อการตอบสนองในย่านความถี่กว้างของสายอากาศเนื่องจากเป็นการปรับการแมทช์อิมพีแดนซ์ในความถี่ต่างๆระหว่างแผ่นสี่เหลี่ยมกับสายนำสัญญาณ โดยค่าพารามิเตอร์ θ เท่ากับ 15 องศา สายอากาศมีสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่ต่ำกว่า -10 dB ตลอดช่วงความถี่ตั้งแต่ 3.31 GHz ถึง 11.8 GHz ซึ่งยังไม่ครอบคลุมการใช้งานในแถบความถี่กว้างยิ่งยวด ในขั้นตอนถัดมา ทำการปรับพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศให้มีขนาดเหมาะสมเพื่อให้ครอบคลุมย่านแถบความถี่กว้างยิ่งยวด ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศคือ *La* = 46 มิลลิเมตร, *Lb* = 48 มิลลิเมตร, *W* = 30 มิลลิเมตร , *L* = 16 มิลลิเมตร, *Wf* = 4.2 มิลลิเมตร, *Lf* = 23.5 มิลลิเมตร, *Wa* = 8 มิลลิเมตร และ *Lg* = 23.5 มิลลิเมตร โดยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่ต่ำกว่า -10 dB ตั้งแต่ 3.05 ถึง 11.8 GHz ดังแสดงในรูปที่ 3



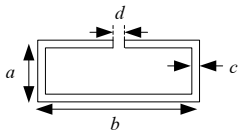
รูปที่ 3: สัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศแถบความถี่กว้างยิ่งยวด

2.2 สายอากาศย่านความถี่คู่

ในขั้นตอนนี้ทำการออกแบบสายอากาศย่านความถี่คู่ให้ตอบสนองการใช้งานในโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายและแถบความถี่กว้างยิ่งยวด โดยทำการเพิ่มร่อง [7] บนสายอากาศแถบความถี่กว้างยิ่งยวดดังแสดงในรูปที่ 4 ดังนี้



(ก) (ข)



(ค)

รูปที่ 4: พารามิเตอร์ของร่อง (ก) สี่เหลี่ยม (ข) ตัวยู (ค) ตัวซี

ขนาดพารามิเตอร์ของร่องทั้งสามรูปแบบแสดงดังตารางที่ 1 ถึง 3 ดังนี้

ตารางที่ 1 ขนาดพารามิเตอร์ของร่องสี่เหลี่ยม (Rectangular slot)

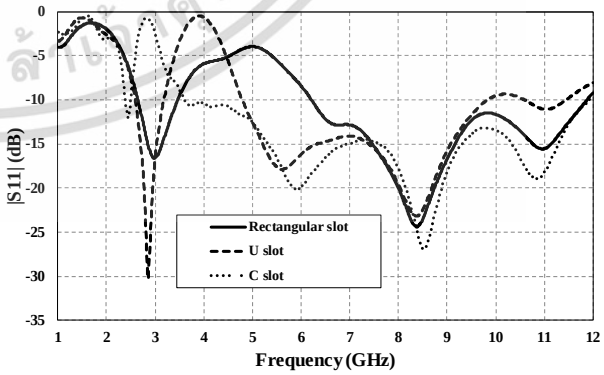
สัญลักษณ์	ขนาด (มิลลิเมตร)
a	21
b	8

ตารางที่ 2 ขนาดพารามิเตอร์ของร่องตัวยู (U-slot)

สัญลักษณ์	ขนาด (มิลลิเมตร)
a	21
b	8
c	2

ตารางที่ 3 ขนาดพารามิเตอร์ของร่องตัวซี (C-slot)

สัญลักษณ์	ขนาด (มิลลิเมตร)
a	21
b	8
c	2
d	2

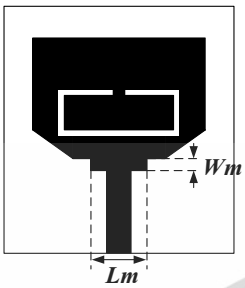


รูปที่ 5: สัมประสิทธิ์การสะท้อนเมื่อเพิ่มร่องสามรูปแบบ

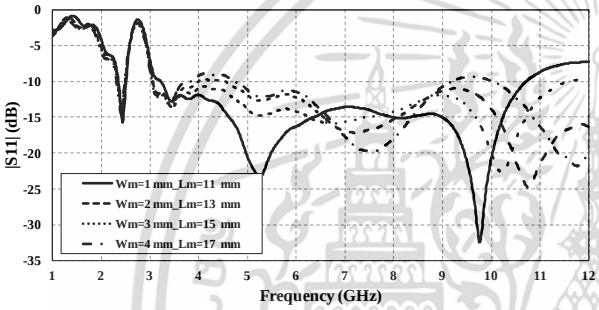
จากรูปที่ 5 พบว่าร่องรูปตัวซีทำให้สายอากาศตอบสนองโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย (2.4 GHz) แต่ไม่ครอบคลุมแถบความถี่กว้างยิ่งยวดที่ความถี่ 3.1 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจึงทำการเพิ่มตัวแมทช์อิมพีแดนซ์ที่ความถี่ดังกล่าวลงบนสายอากาศดังแสดงในรูปที่ 6 และทำการปรับขนาดพารามิเตอร์ตัวแมทช์อิมพีแดนซ์โดยแสดงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อง ดังแสดงในรูปที่ 7

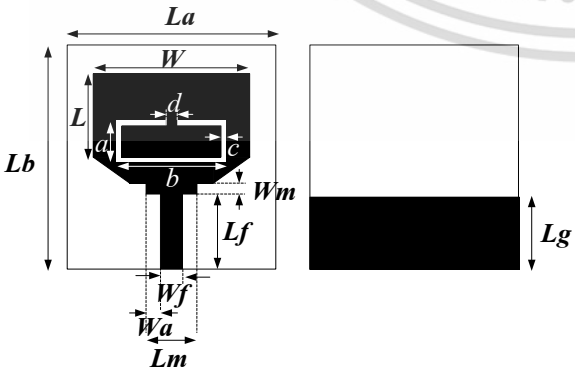


รูปที่ 6: สายอากาศที่เพิ่มตัวแมทช์อิมพีแดนซ์



รูปที่ 7: สัมประสิทธิ์การสะท้อนเมื่อปรับตัวแมทช์อิมพีแดนซ์

จากรูปที่ 7 เมื่อขนาดของพารามิเตอร์ตัวแมทช์อิมพีแดนซ์ที่ความถี่ 3.1 GHz คือ *Wm* และ *Lm* เท่ากับ 2 มิลลิเมตรและ 13 มิลลิเมตร ตามลำดับ สายอากาศสามารถใช้งานได้ครอบคลุมโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายและแถบความถี่กว้างยิ่งยวด โดยรูปร่างและขนาดพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายอากาศแสดงในรูปที่ 8 และตารางที่ 4 ดังนี้



(ก) (ข)

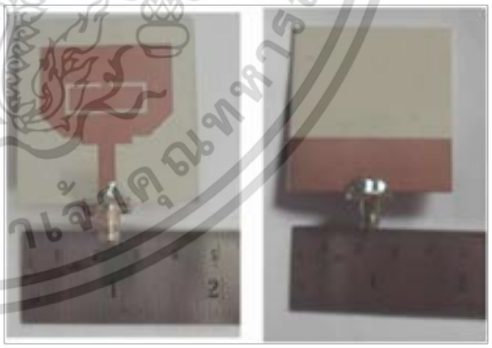
รูปที่ 8: รูปร่างสายอากาศ (ก) ด้านหน้า (ข) ด้านหลัง

ตารางที่ 4 ขนาดพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศย่านความถี่คู่

สัญลักษณ์	ขนาด (มิลลิเมตร)
W	30.0
L	16.0
Lf	23.5
Lg	23.5
Wa	8.0
Wf	4.2
Wm	2.0
Lm	13.0
La	46.0
Lb	48.0

3. การสร้างและทดสอบ

ในขั้นตอนนี้ทำการสร้างสายอากาศต้นแบบ (สายอากาศที่นำเสนอ) ที่สร้างบนวัสดุชนิด Rogers RT5880LZ มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกเท่ากับ 1.96 หนา 1.27 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 9 และทำการทดสอบสัมประสิทธิ์การสะท้อน แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นและอัตราขยายของสายอากาศ โดยทำการทดสอบกับเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายยี่ห้อ Agilent รุ่น N5230A ผลการจำลองและทดสอบแสดงดังต่อไปนี้

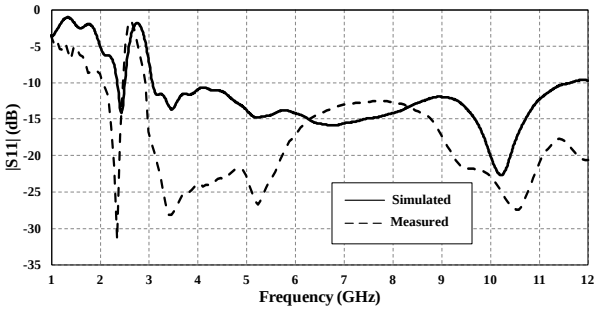


(ก) (ข)

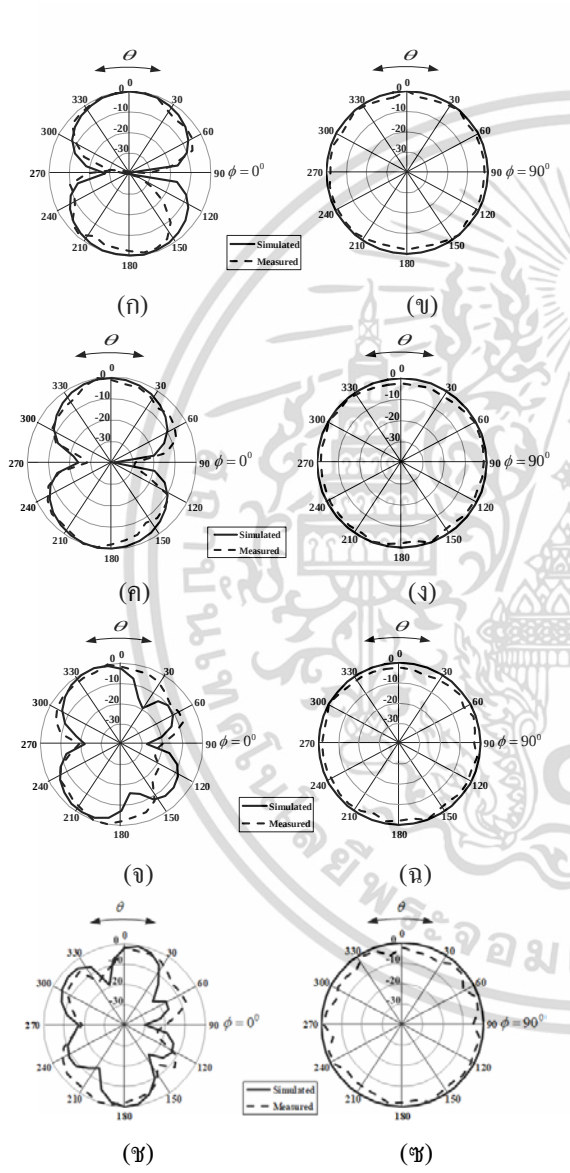
รูปที่ 9: สายอากาศต้นแบบ (ก) ด้านหน้า (ข) ด้านหลัง

รูปที่ 10 แสดงสัมประสิทธิ์การสะท้อนเทียบความถี่ พบว่าผลการทดสอบสายอากาศมีสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่ต่ำกว่า -10 dB สองย่านความถี่ เริ่มจาก 2.14 GHz ถึง 2.5 GHz และ 3 GHz ถึง 12 GHz ครอบคลุมการใช้งานในระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายและแถบความถี่กว้างยิ่งยวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

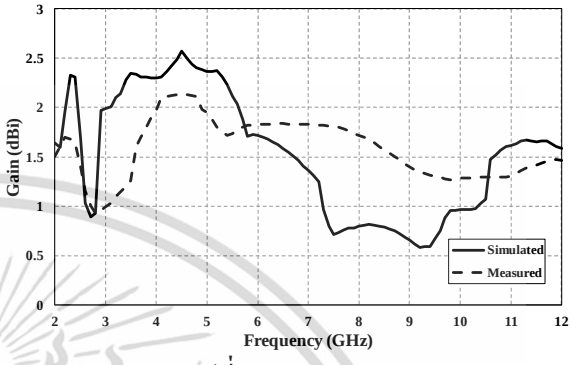


รูปที่ 10: สัมประสิทธิ์การสะท้อน



รูปที่ 11: แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นความถี่ (ก) 2.4 GHz ระนาบ xz (ข) 2.4 GHz ระนาบ yz (ค) 3.5 GHz ระนาบ xz (ง) 3.5 GHz ระนาบ yz (จ) 7 GHz ระนาบ xz (ฉ) 7 GHz ระนาบ yz (ช) 10 GHz ระนาบ xz (ซ) 10 GHz ระนาบ yz

รูปที่ 11 แสดงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 2.4 GHz, 3.5 GHz, 7 GHz และ 10 GHz โดยการทดสอบใช้สายอากาศต้นแบบสองตัวตั้งระยะห่างกัน 30 เซนติเมตร ผลการทดสอบพบว่าสายอากาศมีการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง

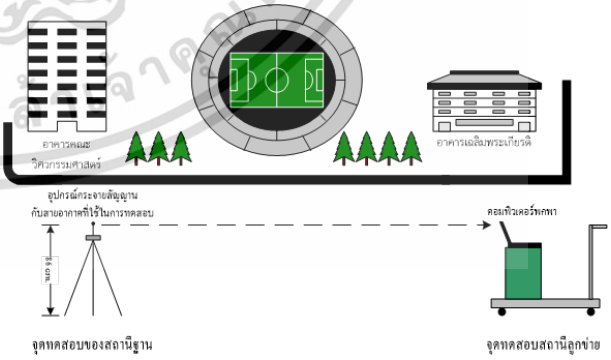


รูปที่ 12: อัตราขยาย

รูปที่ 12 แสดงอัตราขยายเทียบความถี่ เมื่อทำการทดสอบที่มุม $\theta = 0$ องศา และ $\varphi = 0$ องศา โดยที่ความถี่ 2.4 GHz มีอัตราขยาย 1.64 dBi ความถี่ 3.5 GHz มีอัตราขยาย 1.26 dBi ความถี่ 7 GHz มีอัตราขยาย 1.82 dBi และความถี่ 10 GHz มีอัตราขยาย 1.28 dBi

4. การประเมินสมรรถนะ

ในขั้นตอนนี้จะทำการประเมินสมรรถนะของสายอากาศทั้งในระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายและแถบความถี่กว้างยิ่งยวด

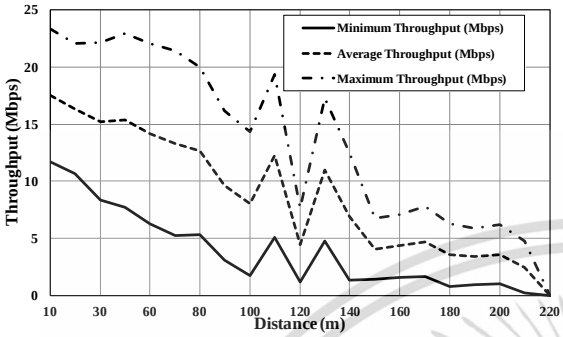


รูปที่ 13: สภาพแวดล้อมในการประเมินสมรรถนะ

รูปที่ 13 แสดงสภาพแวดล้อมในการประเมินสมรรถนะ โดยทำการทดสอบอัตราการส่งข้อมูลที่บริเวณสนามกีฬาภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

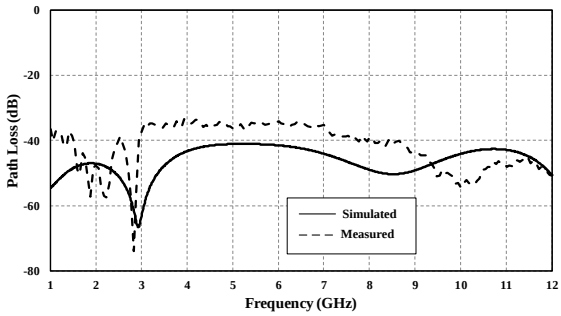
รัตนโกสินทร์ สายอากาศที่นำเสนอเป็นสายอากาศรับถูกติดตั้งกับเครื่องคอมพิวเตอร์พกพาที่มีความสูงระดับเดียวกับสายอากาศตัวส่งที่ติดตั้งกับอุปกรณ์แพร่กระจายสัญญาณ (Access point)



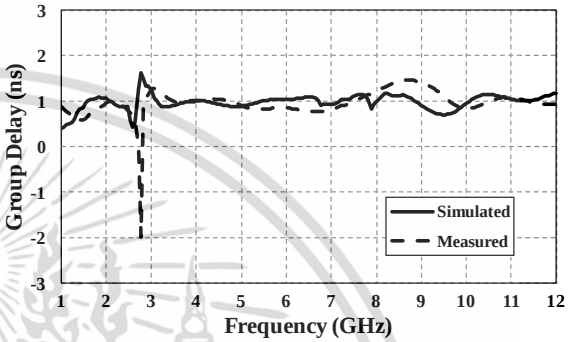
รูปที่ 14: อัตราการส่งข้อมูล

รูปที่ 14 แสดงอัตราการส่งผ่านข้อมูล ที่ทำการทดสอบร่วมกับอุปกรณ์กระจายสัญญาณยี่ห้อ D-Link รุ่น DWL-2100AP ให้กำลังส่ง15dBm (32mW) ± 2dB [8] ในระบบ WLAN ตามมาตรฐาน IEEE 802.11g ในย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ และใช้คอมพิวเตอร์แบบพกพาในการทดสอบอัตราการส่งผ่านข้อมูล โดยทำการทดสอบค่าอัตราการส่งผ่านข้อมูลทุกๆระยะ 10 เมตร แล้วเก็บผลจากการทดสอบในแต่ละระยะเป็นจำนวน 5 ครั้ง จากนั้นนำมาทำการเฉลี่ยค่าแล้วจึงนำค่าเฉลี่ยของอัตราการส่งผ่านข้อมูลในระยะนั้นๆ จากการทดสอบให้อัตราการส่งผ่านสูงสุด 23.3 Mbps ที่ระยะ 10 เมตร ซึ่งเป็นจุดที่ให้ระดับสัญญาณแรง และอัตราการส่งผ่านข้อมูลต่ำสุดที่ระยะ 10 เมตรคือ 11.7 Mbps ให้อัตราการส่งผ่านข้อมูลเฉลี่ยที่ระยะ 10 เมตร 17.5 Mbps สามารถทดสอบผลค่าอัตราการส่งผ่านข้อมูลระยะทางสูงสุดนับจากจุดที่ทำการกระจายสัญญาณได้ที่ระยะ 220 เมตร จากการทดสอบพบว่าความเร็วของอัตราการส่งผ่านข้อมูลนั้นขึ้นอยู่กับระยะทางยิ่งมีระยะทางมากขึ้นอัตราการส่งผ่านก็จะลดลงตาม

การประเมินสมรรถนะสายอากาศในระบบแถบความถี่กว้างยิ่งยวด จะทำการประเมินโดยการทดสอบการสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss) และค่าความหน่วงกลุ่ม (Group Delay) เนื่องจากระบบแถบความถี่กว้างยิ่งยวด มีอุปกรณ์รองรับต่อระบบไม่มากนักหรือยังอยู่ในวงจำกัด



รูปที่ 15: การสูญเสียเชิงวิถี



รูปที่ 16: ความหน่วงกลุ่ม

ในการทดสอบการสูญเสียเชิงวิถีและค่าความหน่วงกลุ่ม ทำการทดสอบโดยใช้สายอากาศที่นำเสนอเหมือนกันสองตัวหันหน้าเข้าหากันตั้งระยะห่างที่ 30 เซนติเมตร ทดสอบกับเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายยี่ห้อ Agilent รุ่น N5230A รูปที่ 15 แสดงการสูญเสียเชิงวิถีผลการทดสอบพบว่าในระบบแถบความถี่กว้างยิ่งยวดมีการเปลี่ยนแปลงค่าการสูญเสียเชิงวิถีค่อนข้างคงที่ โดยเฉพาะที่ความถี่ 3.1 GHz ถึง 7 GHz (ไม่เกิน 3 dB) รูปที่ 16 แสดงความหน่วงกลุ่มผลการทดสอบพบว่าในระบบแถบความถี่กว้างยิ่งยวดมีการเปลี่ยนแปลงค่าความหน่วงกลุ่มน้อยกว่า 1 ns ส่งผลให้สายอากาศที่นำเสนอเมื่อใช้งานในระบบแถบความถี่กว้างยิ่งยวดมีความเพี้ยนต่ำ

5. สรุป

ในงานวิจัยนี้นำเสนอสายอากาศที่ตอบสนองในระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายและระบบแถบความถี่กว้างยิ่งยวด จากผลการทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับ แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น อัตราขยาย อัตราการส่งผ่านข้อมูล การสูญเสียเชิงวิถี และความหน่วงกลุ่ม พบว่าสายอากาศสามารถนำมาใช้งานได้ทั้งระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายและระบบแถบความถี่กว้างยิ่งยวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก ทุนงบประมาณรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2557 สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Wireless Local Area Network Technology [online].Available:http://www.dms.moph.go.th/dmsict/it03.html.

[2] Ultra wide Band Technology, ECTI e-magazine, [online].Available:http://www.ecti-thailand.org/emagazine/views/ 92.

[3] R. B. Waterhouse, “Microstrip Patch Antennas A Designer's Guide,” Kluwer Academic Publishers, 2003.

[4] R. Bancroft, “Microstrip and Printed Antenna Design,” Scitech Publish, 2009.

[5] C. A. Balanis, “Antenna Theory Analysis and Design”, John Wiley & son, 2005.

[6] K.S. Lim, M. Nagalingam, and C.P. Tan, “Design and Construction of Microstrip UWB Antenna with Time Domain Analysis,” Progress In Electromagnetics Research M, Vol. 3, 153–164, 2008.

[7] NatarajamanLS, S K Behera and S K Patra, "Compact CPW-fed Dual-Band Antenna for WLANIUWB Application," ICCCCT-10, pp. 5-8, October 2010.

[8] D-Link AirPlus Xtreme G DWL-2100AP Manual [online],Available:http://files.dlink.com.au/Products/DWL-2100AP/Manuals/DWL-2100AP_A4_Manual_2.5.pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้