

การทดลองวัดและการประเมินผลของสายอากาศกรวยคู่
สำหรับระบบไร้สายแถบกว้างยิ่ง

EXPERIMENTAL AND EVALUATION OF BICONICAL ANTENNA
FOR WIRELESS ULTRA WIDEBAND SYSTEM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2566

KMITL 2023-EN-M-029-041

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EXPERIMENTAL AND EVALUATION OF BICONICAL ANTENNA
FOR WIRELESS ULTRA WIDEBAND SYSTEM



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING
SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2023

KMITL 2023-EN-M-029-041

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2023

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การทดลองวัดและการประเมินผลของสายอากาศกรวยคู่สำหรับระบบไร้สายแถบกว้างยิ่ง
นักศึกษา	นางสาวอิสริย์ ฤทธ
รหัสนักศึกษา	60601212
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2566
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.สถาพร พรหมวงศ์

บทคัดย่อ

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาทดลองวัด และประเมินประสิทธิภาพของสายอากาศแบบกรวยคู่ สำหรับการส่งผ่านบนช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งในช่วงย่านความถี่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz และ 7.25 GHz ถึง 8.50 GHz โดยแบบแผนประเมินผลการเชื่อมโยงในอวกาศว่างและพิจารณาในเทอมของ ฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่สำหรับระบบแถบกว้างยิ่ง นอกจากนี้ยังได้พิจารณารูปคลื่นที่นำมาใช้ วิเคราะห์ความเพี้ยนของสายอากาศ โดยพิจารณาใช้รูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของไรซ์โคซายน์เป็น สัญญาณส่งสำหรับแถบกว้างยิ่ง ในการวัดและการทดสอบคุณลักษณะช่องสัญญาณการส่งผ่านได้ใช้ เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์และสายอากาศด้านส่งและด้านรับเป็นแบบกรวยคู่ จากผลการ วัดและประเมินผลเปรียบเทียบของความผิดเพี้ยนช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งที่เกิดจากสายอากาศ สามารถประเมินผลการวิจัยได้อย่างเหมาะสม ดังนั้นแบบแผนที่นำเสนอในงานวิจัยนี้มีประโยชน์อย่างมาก สำหรับการออกแบบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของสายอากาศแถบกว้างยิ่ง และประยุกต์ใช้งาน การสื่อสารไร้สายระยะสั้นได้อย่างเหมาะสม.

Thesis Title	Experimental and Evaluation of Biconical Antennas for Wireless Ultra Wideband System
Student	Miss Issaree Ruethorn
Student ID.	60601212
Degree	Master of Engineering
Program	Telecommunications Engineering
Year	2023
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr. Sathaporn Promwong

ABSTRACT

This thesis is experimental and evaluation of biconical antenna for wireless ultra wideband system with a frequency bands 3.1 GHz to 10.6 and 7.25 GHz to 8.50 GHz. The evaluation scheme in the term of frequency transfer function for ultra wideband system that takes into account the transmitted waveform, its distortion due to the antennas, the channel and the correlation receiver. Root raised cosine passband waveform is used as the ultra wideband transmitted waveform. Experimental investigations are done for different types of the antennas. The distortion quantities in the terms of phase are defined and shown. This scheme provides some useful physical insights and optimized design procedure with clear and accessible description of the ultra wideband antenna design and evaluate the link budget comprised of practical antennas performance.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาจาก ผศ.ดร.สถาพร พรหมวงศ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ ช่วยเหลืออบรมสั่งสอน และคอยชี้แนะแนวทางเกี่ยวกับโครงงานวิจัยอย่างดีมาโดยตลอด ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากอาจารย์เป็นอย่างยิ่ง

ขอกราบขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นอย่างสูงที่กรุณาให้คำแนะนำ ตลอดจนท่านคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมทุกท่านเป็นอย่างสูงที่ให้ความรู้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ ในห้องวิจัย UWB-RS (Ultra Wideband Radio System)ทุกท่านที่ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจให้มาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่คอยเป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกๆด้านมาโดยตลอด ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

อิสริย์ ฤทร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.3 สมมติฐาน.....	4
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดในการวิจัย.....	4
1.5 ขอบเขตการศึกษา.....	5
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	5
บทที่ 2 วิทยูอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง.....	6
2.1 บทนำ.....	6
2.2 นิยามของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง.....	7
2.3 ข้อกำหนดของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง.....	8
2.3.1 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่ง ในสหรัฐอเมริกา.....	9
2.3.2 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่ง ในยุโรป.....	10
2.3.3 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่ง ในญี่ปุ่น.....	12
2.3.4 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่ง ที่ใช้ร่วมกัน.....	13
2.4 มาตรฐานของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง.....	14
2.4.1 มาตรฐาน III 802.15.4.....	14
2.4.2 มาตรฐาน III 802.15.4a.....	15
2.4.3 มาตรฐาน III 802.15.6.....	15
2.5 จุดเด่นของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง.....	16
2.6 สรุป.....	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 หลักการวิเคราะห์สัญญาณแถบกว้างยิ่ง.....	20
3.1 บทนำ.....	20
3.2 แบบจำลองการส่งผ่านระบบแถบกว้างยิ่ง.....	20
3.3 การสหสัมพันธ์ทางด้านรับ.....	22
3.4 ความเป็นไปได้ของเครื่องรับสหสัมพันธ์ที่เหมาะสมที่สุด.....	23
3.5 อัตราขยายการส่งผ่านแถบกว้างยิ่ง.....	24
3.6 รูปคลื่นส่งผ่านของระบบแถบกว้างยิ่ง.....	25
3.7 สรุป.....	28
บทที่ 4 การทดลองวิจัยแถบกว้างยิ่ง.....	29
4.1 บทนำ.....	29
4.2 ขั้นตอนในการเตรียมการทดลอง.....	30
4.2.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์.....	30
4.2.2 สายอากาศแบบกรวยคู่ (Biconical Antenna).....	31
4.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง.....	33
4.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	34
4.5 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง.....	35
4.6 สรุป.....	35
บทที่ 5 ผลการทดลองวิจัยและการอภิปรายผล.....	36
5.1 บทนำ.....	36
5.2 ผลการทดลองวัดและการวิเคราะห์.....	36
5.2.1 อัตราขยายการส่งผ่าน.....	36
5.2.2 อัตราขยายการส่งผ่านตามมาตรฐาน FCC และแถบความถี่ร่วม.....	38
5.3 สรุป.....	39

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 สรุปการศึกษาทดลองวิจัย.....	40
6.1 บทนำ.....	40
6.2 ผลการทดลองความเพี้ยนช่องสัญญาณการส่งผ่าน.....	40
6.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการวิจัยพัฒนา.....	41
เอกสารอ้างอิง.....	42
ภาคผนวก ก.บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในระหว่างการศึกษาระดับปริญญาโท.....	44
ประวัติผู้เขียน	50



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร 9
2.2	ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร 10
2.3	ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงานที่แก้ไขใหม่โดย ETSI สำหรับการใช้งานของระบบการสื่อสารภายในอาคาร 11
2.4	ข้อกำหนดระดับ PSD ที่แพร่กระจายออกมาสำหรับการสื่อสารภายในอาคารเท่านั้นที่กำหนดโดย MIC 12
2.5	ข้อกำหนดระดับ PSD ที่แพร่กระจายออกมาสำหรับการสื่อสารแถบความถี่ร่วม..... 13
4.1	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง..... 33
4.2	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองวิจัย..... 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 การเปรียบเทียบอัตราการส่งข้อมูลระหว่างระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง และระบบการสื่อสารแถบอื่นๆ	1
1.2 ความเพี้ยนของเฟสในการสื่อสารไร้สายแถบกว้างยิ่ง.....	2
2.1 การเปรียบเทียบแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนของระบบการสื่อสารแถบแคบ และระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง	7
2.2 การเปรียบเทียบระดับความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมของระบบการสื่อสารแถบ กว้างยิ่งและ ระบบการสื่อสารแถบแคบอื่น ๆ.....	8
2.3 ความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมตามข้อกำหนด FCC สำหรับระบบการสื่อสาร แถบกว้างยิ่งภายในและภายนอกอาคาร	10
2.4 ความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมตามข้อกำหนด ETSI สำหรับระบบการสื่อสารแถบ กว้างยิ่งภายในและภายนอกอาคาร	11
2.5 ความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมตามข้อกำหนด ETSI ที่แก้ไขใหม่ สำหรับระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง ภายในอาคาร	12
2.6 ความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมสำหรับการสื่อสารภายในอาคารที่กำหนดโดย MIC ...	13
2.7 ความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมสำหรับการสื่อสารภายในอาคาร ที่กำหนดร่วมกันโดย FCC, ETSI และ MIC	14
2.8 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์ประเภทต่าง ๆ สำหรับระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง	15
3.1 บล็อกไดอะแกรมของแบบจำลองระบบการส่งผ่านสำหรับสัญญาณแถบกว้างยิ่ง.....	23
3.2 รูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของโรซโคชายนท์ที่ถูกนอร์มัลไลซ์เป็นไปตามสเปกตรัม มาส์คของ FCC ที่ช่วงความถี่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz.....	26
3.3 ความหนาแน่นสเปกตรัมที่ถูกนอร์มัลไลซ์ของรูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของ โรซโคชายนท์ที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาส์ค FCC ที่ช่วงความถี่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz.....	26
3.4 รูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของโรซโคชายนท์ที่ถูกนอร์มัลไลซ์เป็นไปตามสเปกตรัม มาส์คของแถบความถี่ร่วมช่วงความถี่ 7.25 GHz ถึง 8.50 GHz	27
3.5 ความหนาแน่นสเปกตรัมที่ถูกนอร์มัลไลซ์ของรูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของ โรซโคชายนท์ที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาส์คแถบความถี่ร่วมที่ช่วงความถี่ 7.25 GHz ถึง 8.50 GHz	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 บล็อกไดอะแกรมการทดลองการวัดช่องสัญญาณการผิดเพี้ยนเนื่องจากสายอากาศ	29
4.2 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ (Vector Network Analyzer; VNA)	30
4.3 โครงสร้างและขนาดของสายอากาศกรวยคู่ที่ได้สร้างขึ้น.....	31
4.4 สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ $ S_{11} $ ของสายอากาศแบบกรวยคู่ที่ได้สร้างขึ้น.....	31
4.5 ขนาดฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศแบบกรวยคู่.....	32
4.6 เฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศแบบกรวยคู่.....	32
4.7 การเตรียมการวัดฟังก์ชันการถ่ายโอนในห้องไร้การสะท้อน.....	33
4.8 ลักษณะการหมุนสายอากาศด้านรับเมื่อมองจากมุมด้านบน.....	34
4.9 สภาพแวดล้อมของการวัดจริงในห้องไร้การสะท้อน.....	34
5.1 อัตราขยายถ่ายโอนของการเชื่อมโยงกรณีใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ – สายอากาศกรวยคู่....	37
5.2 เฟสการถ่ายโอนของการเชื่อมโยงกรณีใช้สายอากาศกรวยคู่-สายอากาศกรวยคู่.....	37
5.3 อัตราขยายการส่งผ่านตามแถบความถี่มาตรฐาน (3.1GHz - 10.6 GHz) สำหรับการเชื่อมโยงของสายอากาศกรวยคู่- สายอากาศกรวยคู่.....	38
5.4 อัตราขยายการส่งผ่านของมาตรฐานแถบความถี่ร่วม (7.25 – 8.5 GHz) สำหรับการเชื่อมโยงด้วยสายอากาศกรวยคู่ – สายอากาศกรวยคู่.....	38
6.1 แถบความถี่มาตรฐานของ MB-UWB ที่ใช้สำหรับเทคโนโลยีอื่น ๆ.....	41
6.2 การควบคุมด้วยระบบการสื่อสารไร้สายทางการแพทย์แบบแถบกว้างยิ่ง.....	41
6.3 การดูแลความปลอดภัยหรือการเฝ้าระวังที่บ้านพักอาศัยสื่อสารไร้สายแถบกว้างยิ่ง.....	41

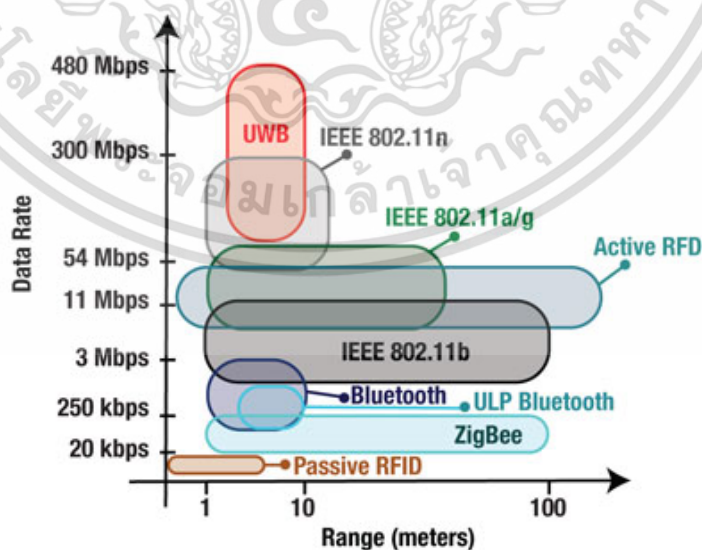
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายระยะสั้นได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากในปัจจุบันมากขึ้น โดยต้องการส่งข้อมูลจำนวนมาก ๆ และมีความเร็วสูง และมีประสิทธิภาพในการส่งผ่านที่ดี จึงทำให้มีการศึกษาและการพัฒนาอย่างไม่หยุดยั้ง ไม่ว่าจะเป็นโครงข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Local Area Network: WLAN) โครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลไร้สาย (Wireless Personal Area Network: WPAN) และโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ (Wireless Body Area Network) เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามก็ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนเป็นที่กล่าวกันมากขึ้นถึงระบบไร้สายแถบกว้าง (Wireless Broadband System: WBS) และมีแนวโน้มว่า จะนำมาใช้ในอย่างกว้างขวางในสถานศึกษา ในโรงพยาบาล ในบ้านพักอาศัย และในสำนักงาน มีเทคโนโลยีหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจและมีการพัฒนาวิจัยกันมากในขณะนี้ นั่นก็คือเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งยวด (Wireless Ultra-Wideband Technology: WUWBT) เพราะว่าเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งยวดเป็นเทคโนโลยีที่สามารถตอบสนองความต้องการผู้ใช้ได้ดีมาก โดยมีแบนด์วิดท์ที่กว้างมาก สามารถส่งข้อมูลได้สูงมาก มีความจุสูง ใช้กำลังงานส่งผ่านต่ำ และต้นทุนการผลิตต่ำ ด้วยคุณสมบัติดังที่ได้กล่าวมาดังนี้

เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายแถบกว้างยิ่งยวด มีช่วงความถี่ระหว่าง 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz และมีแบนด์วิดท์ที่กว้างมากที่สุดเท่ากับ 7.5 GHz ดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 การเปรียบเทียบอัตราการส่งข้อมูลระหว่างระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งยวดและระบบการ

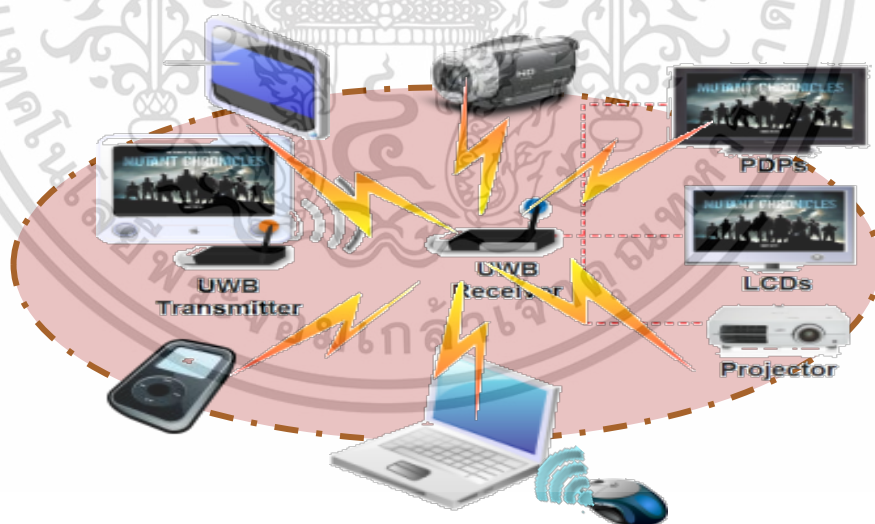
สื่อสารแถบอื่น ๆ [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ใช้กำลังในการส่งต่ำที่ -41.3 dBm/MHz จึงทำให้เกิดการรบกวนง่ายและถูกตรวจจับสัญญาณได้ยาก
- มีอัตราการส่งข้อมูลที่สูง คือ 100 Mbps ที่ระยะทางไม่เกิน 10 m
- การส่งสัญญาณของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งจะส่งสัญญาณในลักษณะเป็นอิมพัลส์ โดยไม่มีการนำเอาสัญญาณข้อมูลไปมอดูเลตกับสัญญาณพาห้ จึงทำให้อุปกรณ์ในระบบแถบกว้างยิ่งมีราคาสูง
- มีสัดส่วนของแบนด์วิดท์ (Fractional Bandwidth) ในการส่งมากกว่าหรือเท่ากับ 25 % ของแถบความถี่กลาง หรือมีการใช้แถบความถี่มากกว่าหรือเท่ากับ 500 MHz

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่าระบบการสื่อสารไร้สายแถบกว้างยิ่งจะนำไปใช้ภายในอาคารเป็นหลักเช่น (Wireless Personal Area Network: WPAN) ซึ่งในการใช้งานจริงนั้น อาจมีการใช้งานในรูปแบบอื่นที่ไม่ใช่เพียงแคภายในอาคารเท่านั้น มีการใช้งานในรูปแบบอื่น ๆ เช่นทางด้านการแพทย์ และทางการทหาร เป็นต้น

ดังปัญหาที่ได้รับความสนใจของวิทยานิพนธ์นี้ก็คือ ความเสี่ยงของสัญญาณการส่งผ่านที่เกิดจากสายอากาศ และการแพร่กระจายคลื่นแถบกว้างยิ่ง เช่น เฟส อัตราการขยาย ดังที่แสดงในรูปที่ 1.2 และได้แสดงแบบแผนการทดลองวิจัย และแบบแผนการประเมินผล ในวิทยานิพนธ์นี้อย่างละเอียด



รูปที่ 1.2 ความเสี่ยงของเฟสในการสื่อสารไร้สายแถบกว้างยิ่ง [2]

เมื่อนำเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายแถบกว้างยิ่งมาใช้ในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารที่มีระยะสั้น เพราะต้องการความเร็วสูงมาก โดยจะทำให้สัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากสายอากาศแล้วผ่านเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุที่เป็นตัวกลาง ไปยังสายอากาศด้านรับ มีการลดทอนกำลังงานลง ส่งผลกระทบต่อสัญญาณที่รับได้ อาจทำให้สัญญาณที่รับได้เกิดความผิดเพี้ยนของเฟสได้ หรืออาจจะรับสัญญาณไม่ได้เลย ดังนั้น วิทยานิพนธ์นี้จึงได้ทำการศึกษาวิจัยถึงความเพี้ยนเชิงเฟสอันเนื่องจากสายอากาศและช่องสัญญาณ แลกกว้างยิ่งในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายได้พัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว และเป็นปัจจัยหนึ่ง ที่มีบทบาทอย่างมากในการพัฒนาประเทศ และชีวิตความเป็นอยู่ในปัจจุบัน เช่น การติดต่อสื่อสารทางไกลทั้งใน ประเทศและระหว่างประเทศ การประชุมผ่านทางไกล การเรียนการสอนผ่านทางไกล การติดต่อสื่อสารส่วนบุคคล การติดต่อสื่อสารระยะสั้น ๆ ยกตัวอย่างเช่นโครงข่ายในเป็นสำนักงาน และการโครงข่ายภายในบ้านพักอาศัย เป็นต้น เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายเหล่านี้ล้วนแล้วมีความต้องการความเร็วสูงมากในการส่งผ่านข้อมูล ดังนั้นเพื่อให้ได้ตามความต้องการของเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งความกว้างของแถบความถี่ และความจุของช่องสัญญาณ จึงเป็นประเด็นการพัฒนาเข้าไปสู่เทคโนโลยี 3G, 4G, 5G 6G และ WiMedia ในอนาคตอันใกล้นี้ เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ได้อย่างสมบูรณ์ และมีประสิทธิภาพสูงสุด จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจมาก สำหรับการศึกษาวิจัย มีเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายมากมายที่ได้รับความสนใจ แต่มีเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง (Ultra wideband: UWB) เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่ได้รับความสนใจมาก เพราะมีแถบกว้างมาก แบนด์วิดท์กว้างถึง 7.5 GHz ในช่วงความถี่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz และใช้กำลังงานต่ำ ดังนั้นก่อนที่จะนำไปใช้งานจริง ให้ได้ผลประโยชน์สูงสุด ทั้งภายในอาคารสำนักงาน และโครงข่ายภายในบ้านพักอาศัย จึงต้องศึกษาวิจัยและพัฒนาให้เหมาะสม และถูกต้องให้มากที่สุด บนมาตรฐาน IEEE802.15.4 (WPAN)

ศึกษาทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์แถบกว้างยิ่งบนพื้นฐานหลักการสูตรส่งผ่านของฟรีส (Friis's transmission formula: FTF) แต่อย่างไรก็ตามไม่สามารถนำสูตรการส่งผ่านของฟรีสมาใช้ได้โดยตรงเพราะว่าอธิบายอยู่รูปของโดเมนความถี่ จึงต้องทำการประยุกต์เอาสูตรของฟรีสมาใช้ ที่ใช้สูตรของฟรีสเพราะว่าง่ายและเป็นที่ยอมรับ และได้ สภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องศึกษาคุณลักษณะและความเพี้ยนของสัญญาณเมื่อมีการส่งออกมาจากสายอากาศอาจจะทำให้เกิดการลดทอนกำลังงานและความเพี้ยนของสัญญาณได้ ด้วยปัจจัยต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการลดทอนที่ตัวสายอากาศ และสภาวะแวดล้อมของอาคาร ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อสัญญาณที่รับได้ หรืออาจจะทำให้รับสัญญาณไม่ได้เลยก็เป็นได้ วิทยานิพนธ์นี้ต้องการที่จะศึกษาผลกระทบจากสายอากาศและสภาวะแวดล้อมจริงที่มีผลต่อช่องสัญญาณของระบบการสื่อสารไร้สายแถบกว้างยิ่ง ซึ่งพิจารณาบนพื้นฐานของการวัดจริง ทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ของแบบจำลองขึ้น โดยนำผลที่ได้จากการวัดโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ (Vector Network Analyzer: VNA) มา

ทำการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณที่เกิดจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การส่งผ่าน เช่น ฟังก์ชันถ่ายโอนช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่ง (UWB Channel Transfer Function) อัตราขยายในการส่งผ่านแถบกว้างยิ่ง (UWB Transmission Gain) ความผิดเพี้ยนในรูปของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แถบกว้างยิ่ง (UWB Correlation Coefficient) ส่วนทางด้านรับได้พิจารณาใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ในการทำให้สัญญาณเหมาะสมที่สุด เพื่อให้ได้อัตราส่วนกำลังงานสัญญาณต่อกำลังงานความหนาแน่นสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio: SNR) มีความเหมาะสมที่สุด และสามารถตรวจจับสัญญาณแถบกว้างได้ง่าย

1.3 สมมติฐาน

สมมติฐานของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้พิจารณาประสิทธิภาพสายอากาศสำหรับการสื่อสารวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง เพราะในอนาคตนั้นความต้องการในระบบสื่อสารไร้สายที่สามารถส่งข้อมูลข่าวสารได้มาก มีความเร็วสูง และการขยายตัวทางด้านเทคโนโลยีไร้สายรวดเร็วมากขึ้น ซึ่งเป็นระบบมัลติมีเดีย เพราะฉะนั้นความต้องการแบนด์วิดท์ และความต้องการความจุช่องสัญญาณก็มีมากขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการศึกษาวิจัย โดยเฉพาะอย่างยิ่งประสิทธิภาพของสายอากาศที่ใช้ในการส่งผ่านสัญญาณแถบกว้างยิ่ง และต้องรู้ถึงคุณลักษณะช่องสัญญาณ คุณสมบัติของสายอากาศที่นำมาใช้ให้เกิดได้จริง วิธีการหรือหลักการวิเคราะห์สัญญาณการส่งผ่านแบบแถบกว้างให้มีความเหมาะสมที่สุดจะทำอย่างไร ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เห็นถึงความสำคัญของการถ่ายโอนช่องสัญญาณแถบกว้างโดยเฉพาะความเพี้ยนรูปคลื่นสัญญาณอิมพัลส์ที่สาเหตุเกิดจากสายอากาศแถบกว้าง และช่องสัญญาณแถบกว้าง บนพื้นฐานสูตรการส่งผ่านของฟรีส และทางด้านรับได้พิจารณาใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ ด้วยแบบแผนที่ได้นำเสนอจะทำให้ผู้วิจัยสามารถออกแบบรูปแบบการวัด การวิเคราะห์ช่องสัญญาณได้ ทำให้รู้ถึงคุณลักษณะของสัญญาณการส่งผ่าน อัตราการขยาย ความเพี้ยนรูปคลื่นช่องสัญญาณที่เกิดจากสายอากาศ และการแพร่กระจายคลื่นแถบกว้างยิ่ง และพารามิเตอร์อื่นๆ ที่ต้องทราบก็สามารถทำได้

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ในแนวทางการศึกษาวิจัยของวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอแบบแผนการประเมินผลของความผิดเพี้ยนเฟสที่เกิดขึ้นเนื่องจากสายอากาศสำหรับวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง บนพื้นฐานสูตรการส่งผ่านของฟรีส โดยการประยุกต์ใช้สูตรการส่งผ่านของฟรีส และได้พิจารณาใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ ส่วนรูปคลื่นสัญญาณส่งได้ใช้ตามข้อกำหนดมาตรฐานของคณะกรรมการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communication Commission: FCC) รูปคลื่นแถบสี่เหลี่ยมที่แบนด์วิดท์ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz และรูปคลื่นแถบสี่เหลี่ยมร่วมที่แบนด์วิดท์ 7.25 GHz ถึง 8.5 GHz ในการทดลองวิจัยได้ทำการวัดในห้องไร้การสะท้อนโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ในการวัดและบันทึกผล และสายอากาศแบบแถบกว้างสองชนิดคือสายอากาศกรวยคู่ และสายอากาศไดโพลรายคาบล็อกใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นใบเซอร์ไอเซนดนี้ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่งผ่าน จากนั้นก็เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างผลกรณีใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ที่สัญญาณที่รับได้มาเป็นสัญญาณต้นแบบ และกรณีที่ใช้เครื่องแบบสหสัมพันธ์ที่สัญญาณไอโซทรอปิกเป็นสัญญาณต้นแบบ ทำให้รู้ถึงความผิดเพี้ยนช่องสัญญาณการส่งผ่านแถบกว้างยิ่งได้

1.5 ขอบเขตการศึกษา

วิทยานิพนธ์นี้ได้เสนอวิธีการประเมินผลประสิทธิภาพของสายอากาศ ความผิดเพี้ยนรูปคลื่นส่งผ่านที่เกิดจากสายอากาศ และอัตราขยายช่องสัญญาณการส่งผ่านแถบกว้างยิ่ง บนพื้นฐานสูตรการส่งผ่านของฟรีส และทางด้านรับได้พิจารณาใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ ส่วนการวัด ได้ทำการทดลองวิจัยในห้องไร้การสะท้อน แล้วทำการวัดและบันทึกผลด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ และได้ใช้สายอากาศแถบกว้างสองชนิดในการประเมินผลการวัด และได้นำผลจากการวัดจริงมาประเมินผลเปรียบเทียบความผิดเพี้ยนรูปคลื่นที่เกิดจากสายอากาศ โดยพิจารณาจากอัตราขยายในการส่งผ่านแถบกว้างยิ่ง และออฟดีโมซ์สัญญาณรูปคลื่นโดยใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์

1.6 ขั้นตอนการศึกษา

หลักการคิดค้นศึกษาวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถสรุปเป็นขั้นตอนการศึกษา เริ่มจากการศึกษาทฤษฎีและหลักการประเมินผลความผิดเพี้ยนอัตราการขยายการส่งผ่านช่องสัญญาณบนพื้นฐานสูตรการส่งผ่านของฟรีส และเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ จากนั้นกล่าวถึงขั้นตอนการทดลองวิจัยในส่วนของการวัดฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์และสายอากาศแถบกว้าง อุปกรณ์ที่ใช้ทดลองวิจัย และรูปแบบวิธีการวัดโดยยึดหลักตามแบบแผนที่ออกแบบไว้ ให้มีเหมาะสมและสามารถประยุกต์ได้จริง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาเป็น 6 บท คือ ในบทที่ 1 ได้กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐาน ทฤษฎีที่ใช้ ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา จากนั้นบทที่ 2 ได้กล่าวถึงเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายแถบกว้างยิ่ง ประวัติความเป็นมา ข้อกำหนดลักษณะโดยทั่วไปของระบบแถบกว้างยิ่ง จุดเด่นของระบบแถบกว้างยิ่ง รูปแบบของสัญญาณที่ใช้ในการส่ง ในบทที่ 3 ได้กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการประเมินผลของความผิดเพี้ยนรูปคลื่น อัตราขยายการส่งผ่านช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่ง ในบทที่ 4 กล่าวถึงรูปแบบการจำลอง การวัด การเตรียมการวัด และการวัดสัญญาณแถบกว้างยิ่ง ประกอบด้วย รูปคลื่นการส่งแถบกว้างยิ่ง สายอากาศที่ใช้ทดสอบ และพารามิเตอร์ต่าง ๆ นำผลที่ได้จากการวัดจริงไปวิเคราะห์ และประเมินผลเปรียบเทียบผลทดลองวิจัยได้แสดงไว้ในบทที่ 5 และในบทที่ 6 ได้สรุปผลการทดลองวิจัยและข้อเสนอแนะไว้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้อย่างสมบูรณ์แล้ว

บทที่ 2

ระบบไร้สายแถบกว้างยิ่ง

2.1 บทนำ

การสื่อสารไร้สายแบบแถบกว้างยิ่ง เป็นระบบไร้สายที่น่าสนใจมาก เพราะว่าการส่ง-รับสัญญาณแบบอิมพัลส์สั้น ๆ มีช่วงเวลาพัลส์แคบมาก และใช้กำลังงานในการส่งสัญญาณมีค่าต่ำ ปัจจุบันนี้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง ได้รับความสนใจอย่างแพร่หลาย สามารถนำไปประยุกต์ใช้งาน ร่วมกับการสื่อสารไร้สายเพื่อรองรับความต้องการของผู้ใช้งาน เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งเป็นเทคโนโลยีที่มีความละเอียดทางโดเมนเวลาสูงซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เทคโนโลยีนี้มีความเที่ยงตรงสูงมากเช่นกัน ด้วยสาเหตุอันเนื่องมาจากแบนด์วิดท์ของระบบแถบกว้างยิ่งกว้างมาก อีกทั้งยังมีคุณสมบัติในการทะลุทะลวงสิ่งกีดขวางได้ดี ยกตัวอย่างเช่น กำแพง ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป สัญญาณของระบบแถบกว้างยิ่ง มีแบนด์วิดท์มากกว่าหรือเท่ากับ 500 MHz หรือมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนมากกว่าหรือเท่ากับ 0.2 จากสูตรการหาค่าความจุของช่องสัญญาณตามที่ Shannon ได้กล่าวไว้ แสดงให้เห็นว่า ระบบแถบกว้างยิ่ง เมื่อแบนด์วิดท์กว้างจะทำให้มีค่าความจุของช่องสัญญาณมาก ทำให้ส่งข้อมูลได้ในปริมาณที่มากขึ้น สามารถรองรับผู้ใช้งานได้จำนวนมากตามไปด้วย จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นการส่งสัญญาณของระบบแถบกว้างยิ่ง นั้นจะทำการส่งสัญญาณผ่านช่องสัญญาณคลื่นวิทยุในลักษณะที่เป็นอิมพัลส์ โดยไม่มีการนำเอาสัญญาณข้อมูลไปมอดูเลตกับสัญญาณพาหะนั้น เทคนิคของระบบนี้จึงไม่จำเป็นต้องใช้มิกเซอร์ ทำให้สร้างระบบได้ง่าย ซึ่งหมายความว่าสามารถสร้างระบบทั้งภาคส่งและภาครับให้มีราคาถูกลง ต้นทุนต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับระบบการสื่อสารแบบดั้งเดิมที่ใช้สัญญาณความถี่วิทยุ (Radio Frequency : RF) [3-6]

จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้ทำการประเมินผลการเชื่อมโยงโดยอ้างอิงรูปคลื่นที่รับได้จากสายอากาศและทำการพิจารณาแบบไม่ซับซ้อนในพจน์การทำอนุพันธ์ของรูปคลื่นที่ส่งแบบจำลองง่าย เงื่อนไขไม่ยากไม่เพียงพอดต่อการวิเคราะห์และออกแบบระบบ [1, 14].

ได้มีการสร้างและนำเสนอแบบจำลองการเชื่อมโยงที่รวมฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของสายอากาศด้านส่งช่องสัญญาณ สายอากาศด้านรับไม่ได้ทำการพิจารณาเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์แต่เป็นแบบวงจรกรองแบบธรรมดา ต่อมาก็มิงงานวิจัยได้พิจารณาเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์รวมเข้าไปในแบบจำลองไม่ได้ทำการพิจารณาเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ที่เหมาะสมที่สุดพิจารณาใช้การสหสัมพันธ์แบบธรรมดา และได้ทำการวิเคราะห์ผลการเชื่อมโยงและแบบจำลองของช่องส่งสัญญาณแถบกว้างยิ่งระยะสั้นโดยได้พิจารณาเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์แต่ไม่ได้พิจารณาที่เหมาะสมที่สุด [2, 14, 20].

จากนั้นก็มีการความเพี้ยนรูปคลื่นและอัตราขยายในการส่งผ่านบนวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง โดยได้ทำการพิจารณาเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์และพิจารณาที่เหมาะสมที่สุดแต่เป็นสายอากาศแบบลายคาบล็อกสายอากาศในเชิงพาณิชย์ [3, 21].

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอแบบแผนการประเมินผลประสิทธิภาพของสายอากาศ และความเพี้ยนของการส่งผ่านช่องสัญญาณก็สำคัญเช่นกัน วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอสายอากาศแถบกว้างแบบกรวยคู่และการประมาณผลช่องสัญญาณการส่งผ่านด้วยการยอดต่อสูตรการส่งผ่านของฟรีสในโดเมนเวลาและนำเสนอเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการวิเคราะห์ความเพี้ยนของสัญญาณรูปคลื่นแถบกว้างยิ่ง.

เนื่องจากระบบแถบกว้างยิ่งได้ทำงานบนช่วงแถบความถี่ที่มีแบนด์วิดท์กว้างมาก ดังนั้น FCC จึงกำหนดความหนาแน่นของสเปกตรัมกำลังงานส่งต่อความถี่ในการส่งสัญญาณของระบบแถบกว้างยิ่ง ไม่เกิน -41.3 dBm/MHz เพื่อป้องกันไม่ให้ระบบแถบกว้างยิ่ง ไปแทรกสอดกับระบบแถบแคบอื่น ๆ ด้วยสาเหตุดังกล่าวจะเห็นว่าระดับความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของระบบแถบกว้างยิ่ง อยู่ต่ำกว่าระดับสัญญาณรบกวน (Part 15 limit) ดังนั้นเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง จึงสามารถใช้งานได้กับเทคโนโลยีคลื่นวิทยุอื่นโดยจะมีการแทรกสอดน้อย [4-6].

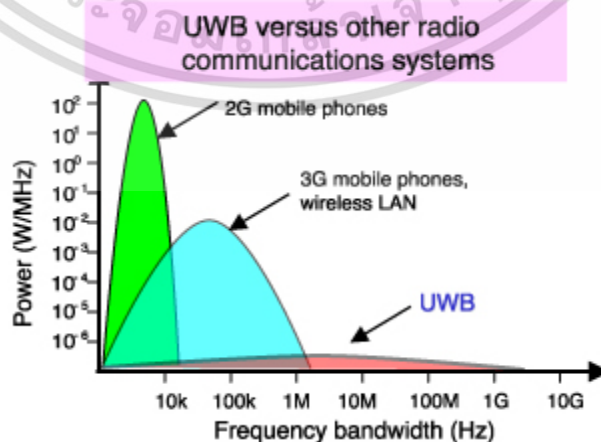
2.2 นิยามของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง

จากคำจำกัดความของ FCC ได้กำหนดไว้ว่า การส่งผ่านสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่ง คือสัญญาณใด ๆ ที่มีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนมากกว่าหรือเท่ากับ 0.2 หรือมีแบนด์วิดท์มากกว่าหรือเท่ากับ 500 MHz แสดงได้ดังสมการ 2.1

$$B_f \geq 0.2, \quad \text{หรือ} \\ B_f > 500 \text{ MHz} \quad (2.1)$$

ซึ่งแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนได้นิยามไว้ คือ อัตราส่วนของแบนด์วิดท์สัญญาณต่อความถี่กลาง [7]

$$B_f = \frac{BW}{f_c} = \frac{(f_H - f_L)}{(f_H + f_L)/2} \quad (2.2)$$

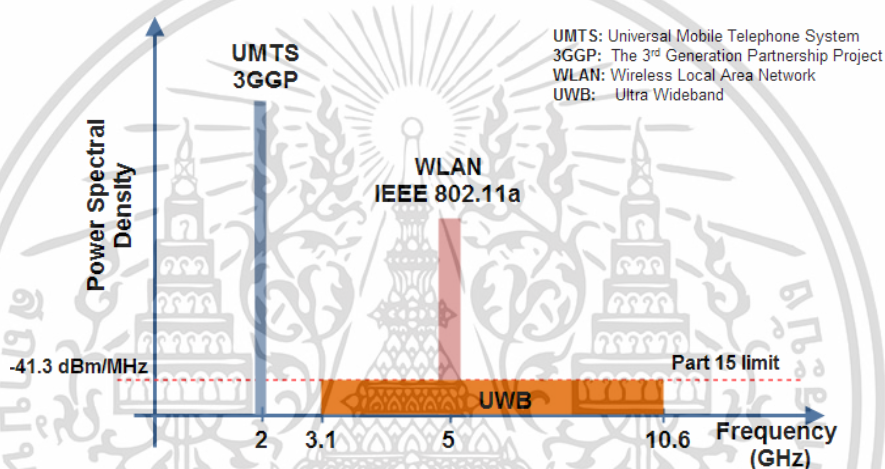


รูปที่ 2.1 การเปรียบเทียบแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนของระบบการสื่อสารแถบแคบและระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ f_H และ f_L คือ ความถี่สูงสุดที่ใช้ส่งและความถี่ต่ำสุดที่ใช้ส่ง เมื่อวัดระดับจากหน้าฉาก ความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัม (PSD masks) Part 15 limit ลงมา 10 dB ตามลำดับ BW คือ แบนด์วิดท์ของสัญญาณ และสำหรับ f_C คือ ความถี่กลาง

จากรูปที่ 2.1 เมื่อทำการเปรียบเทียบระบบการสื่อสารทั้งสองระบบ จะเห็นว่าระบบการสื่อสารแบบดั้งเดิม (แถบแคบ) จะมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนน้อยกว่าระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง ยกตัวอย่างเช่น กรณีของระบบ UMTS (Universal Mobile Telephone System) ที่ทำงานบนช่วงแถบความถี่ประมาณ 2 GHz และมีแบนด์วิดท์ประมาณ 5 MHz ซึ่งมักจะเรียกระบบนี้ว่าแบนด์กว้าง แต่ถ้าวัดจากพิจารณาจากสมการที่ 2.2 ค่าแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนที่คำนวณออกมาจะได้เท่ากับ 0.0025 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.2 ของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง (เกือบ 80 เท่า)



รูปที่ 2.2 การเปรียบเทียบระดับความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง และ ระบบการสื่อสารแถบแคบอื่น ๆ [2]

2.3 ข้อกำหนดของระบบการสื่อสารไร้สายแถบกว้างยิ่ง

สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ได้ถูกกำหนดขึ้นในระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง นั่นก็คือการจัดสรรความถี่ในการใช้งาน ซึ่งได้มีกลุ่มทำงานในสหรัฐอเมริกาได้พยายามทำการถอดถอนการจำกัดของข้อกำหนดในการใช้งานช่วงความถี่ของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง จากกฎข้อบังคับเดิมของ FCC โดยกลุ่มทำงานนี้ได้ก่อตั้งขึ้นอย่างเป็นทางการโดยใช้ชื่อว่า Ultra-Wideband Working Group (UWBWG) เพื่อทำการเจรจาข้อตกลงร่วมกับ FCC เช่นเดียวกันกับในยุโรปก็ได้มีการหาข้อตกลงการจัดสรรคลื่นความถี่และการแทรกสอดของควมถี่วิทยุซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีข้อกำหนดแถบความถี่สำหรับการใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่ง ในสถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป (European Telecommunications Standards Institute: ETSI) หรือ สหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union: ITU)

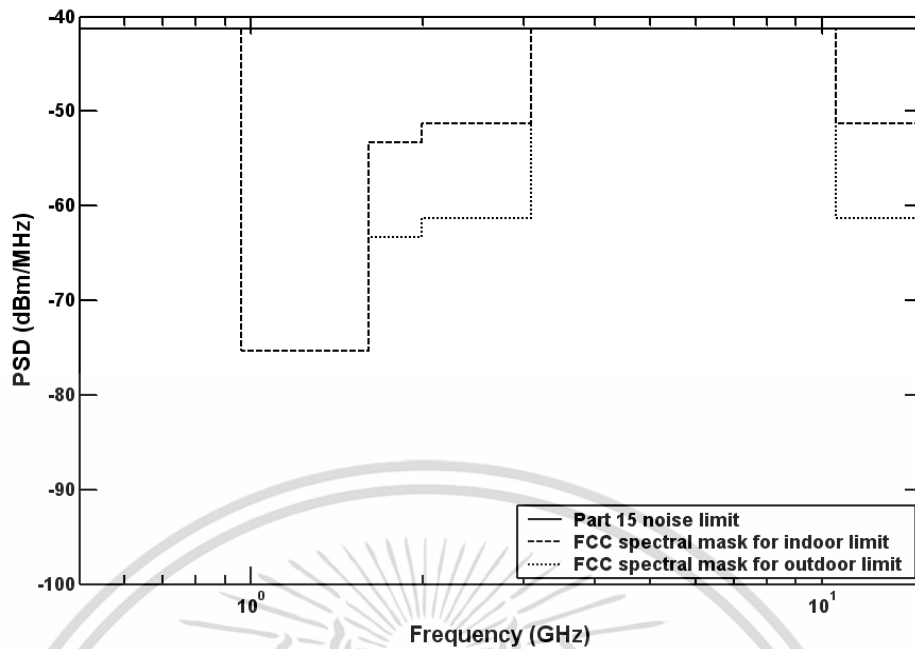
2.3.1 ข้อกำหนดของระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา

ในปี ค.ศ. 1998 FCC ได้ออกประกาศเกี่ยวกับการตรวจสอบ (Notice of Inquiry: NOI) เนื่องจากเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งมีการแทรกสอดกับสัญญาณระบบที่มีอยู่เดิมและระบบความปลอดภัยในกิจการการบินและทิศทางในการค้นคว้าเกี่ยวกับเครื่องส่งในระบบแถบกว้างยิ่ง ด้วยเช่นกัน ในวันที่ 14 กุมภาพันธ์ ปี ค.ศ. 2002 FCC ได้ออกกฎสำหรับระบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งเป็นการกำหนดขอบเขตของการแพร่กระจายกำลังงานฉบับที่หนึ่งสำหรับระบบแถบกว้างยิ่ง และยังอนุญาตให้เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในลักษณะทางการค้าอีกด้วย โดยรายงานล่าสุดของคำประกาศและระเบียบการฉบับที่หนึ่งได้เผยแพร่ต่อสาธารณชนในวันที่ 22 เดือนเมษายน ปี ค.ศ. 2002 ซึ่งในเอกสารได้กล่าวถึงการอนุญาตใช้งานในระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง และการกำหนดขอบเขตการแพร่กระจายพลังงานสำหรับการใช้ในประเภทต่าง ๆ [9] โดยจากนิยามข้างต้นได้ทำการกำหนดค่าแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วน (B_f) ให้มากกว่าหรือเท่ากับ 0.20 ของความถี่กลาง (f_c) เมื่อวัดระดับจากหน้าฉากความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัม Part 15 limit (-41.3 dBm/MHz) ลงมา 10 dB สำหรับข้อจำกัดการสื่อสารภายในอาคาร (Indoor Limit) และ 20 dB สำหรับข้อจำกัดการสื่อสารภายนอกอาคาร (Outdoor Limit) ตามสมการที่ 2.2 และข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 สำหรับใช้ในการสื่อสารข้อมูลทั้งภายในและภายนอกอาคาร [10]

ตารางที่ 2.1 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC สำหรับการใช้งานในระบบการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร [2]

ความถี่ (MHz)	PSD (dBm/MHz) สำหรับการสื่อสารภายในอาคาร	PSD (dBm/MHz) สำหรับการสื่อสารภายนอกอาคาร
น้อยกว่า 960	-41.3	-41.3
960-1610	-75.3	-75.3
1610-1990	-53.3	-63.3
1990-3100	-51.3	-61.3
3100-10600	-41.3	-41.3
มากกว่า 10600	-51.3	-61.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมตามข้อกำหนด FCC สำหรับระบบการสื่อสาร แลกกว้างยิ่งภายในและภายนอกอาคาร

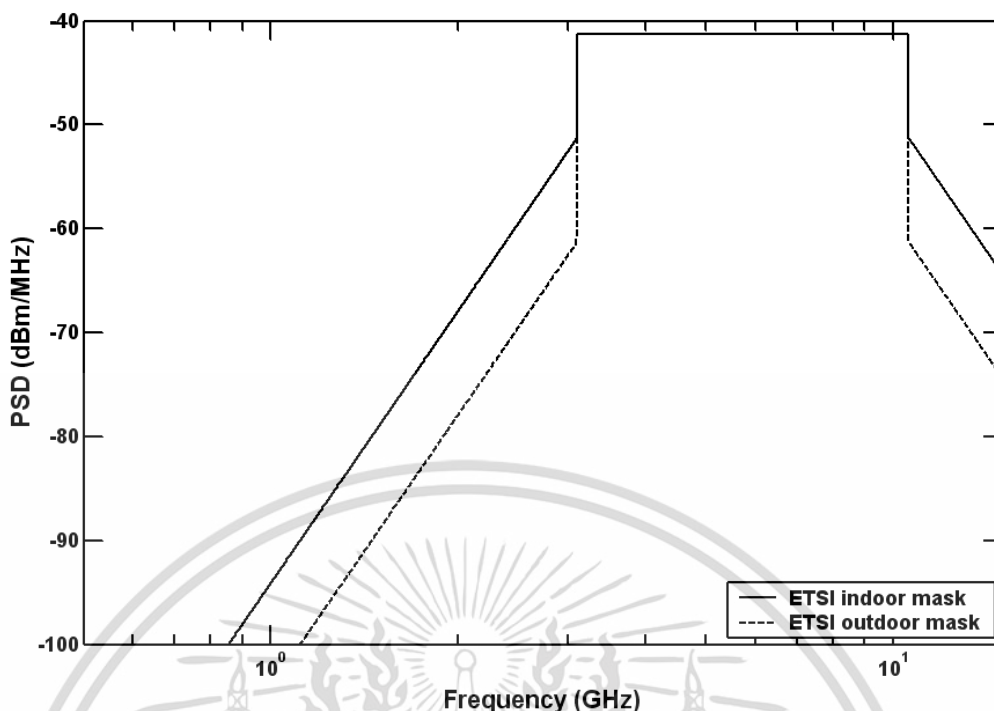
2.3.2 กฎข้อบังคับของระบบแลกเปลี่ยนยิ่ง ในยุโรป

ข้อกำหนดการทำงานของระบบแลกเปลี่ยนยิ่ง ในทวีปยุโรปอยู่ในช่วงรอข้อมูลทางเทคนิคที่เกี่ยวกับผลกระทบของระบบแลกเปลี่ยนยิ่ง บนระบบเดิมที่มีใช้กันอยู่ โดยทางยุโรปนั้นบางส่วนของข้อกำหนดจะรอบคอบกว่าของทางสหรัฐอเมริกา เพราะทางด้านยุโรปนั้นในส่วนของเทคโนโลยีใหม่ ต้องแสดงให้เห็นว่า ส่งผลกระทบมากน้อยหรือไม่กับระบบเดิมที่มีอยู่โดยข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานสำหรับการใช้งานทั้งภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย ITU หรือ ETSI แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.2 [11]

ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร [2]

ความถี่ (GHz)	PSD (dBm/MHz) ภายในอาคาร	PSD (dBm/MHz) ภายนอกอาคาร
น้อยกว่า 3.1	$-51.3 + 87 \log(f / 3.1)$	$-61.3 + 87 \log(f / 3.1)$
3.1-10.6	-41.3	-41.3
มากกว่า 10.6	$-51.3 + 87 \log(10.6 / f)$	$-61.3 + 87 \log(10.6 / f)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



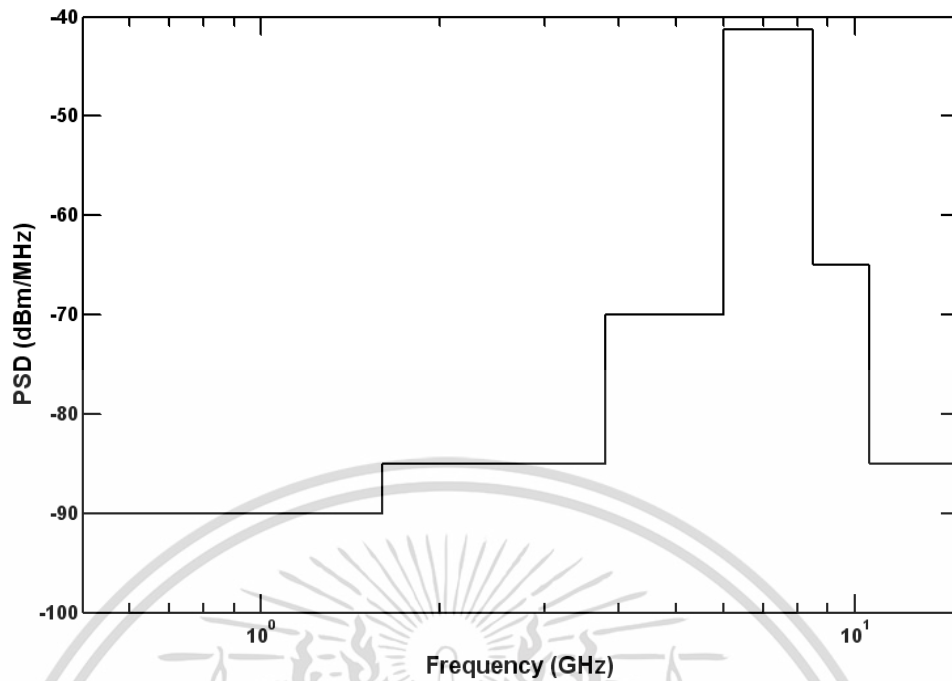
รูปที่ 2.4 ความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมตามข้อกำหนด ETSI สำหรับระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งภายในและภายนอกอาคาร

ปัจจุบันสมาคม ETSI ได้กำหนดการแพร่กระจายกำลังงานและหน้ากาสเปกตรัมอย่างชัดเจน กฎข้อบังคับของการแพร่กระจายของ PSD ที่ได้จัดทำขึ้นนี้อนุญาตให้ระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง สามารถใช้งานได้เฉพาะภายในอาคารเท่านั้น โดยมีช่วงแถบความถี่ใช้งานลดลงเป็น 6.0 GHz ถึง 8.5 GHz ดังแสดงในตารางที่ 2.3 [12]

ตารางที่ 2.3 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงานที่แก้ไขใหม่โดย ETSI สำหรับการใช้งานในของระบบการสื่อสารภายในอาคาร

ความถี่ (GHz)	PSD (dBm/MHz)
น้อยกว่า 1.6	-90
1.6-3.8	-85
3.8-6.0	-70
6.0-8.5	-41.3
8.5-10.6	-65
มากกว่า 10.6	-85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมตามข้อกำหนด ETS ที่แก้ไขใหม่ สำหรับระบบการสื่อสาร แลบกว้างยิ่งภายในอาคาร

2.3.3 กฎข้อบังคับของระบบแลบกว้างยิ่ง ในญี่ปุ่น

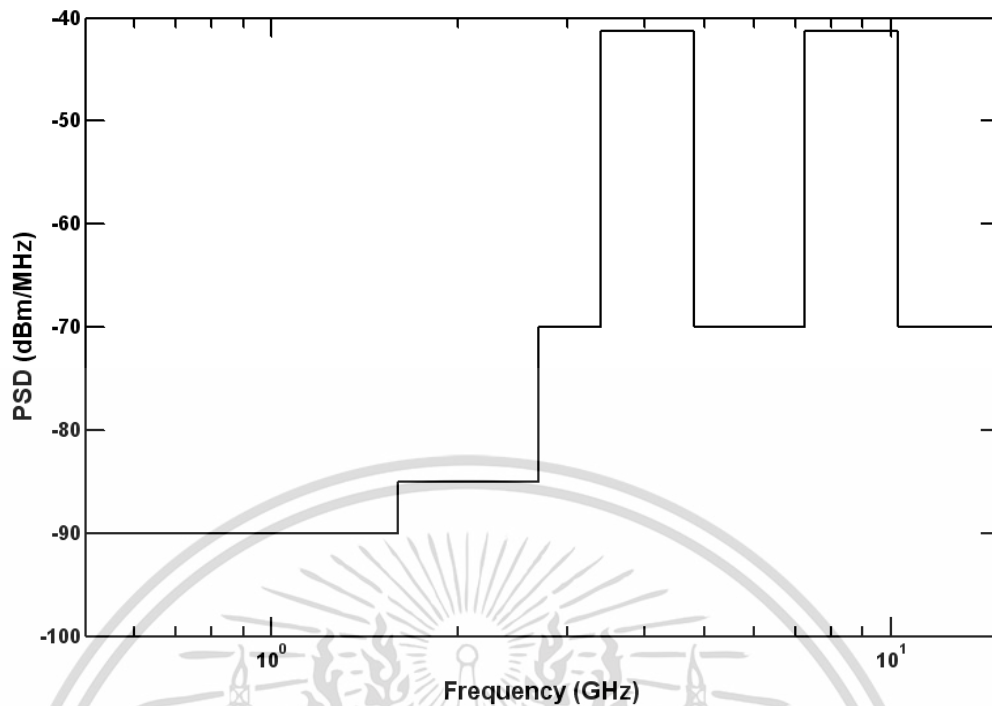
ข้อกำหนดระดับ PSD ที่แผ่กระจายออกมาที่กำหนดโดย MIC เป็นข้อกำหนดสำหรับระบบแลบกว้างยิ่ง ที่ใช้ในประเศญี่ปุ่น โดยเป็นข้อกำหนดที่อนุญาตให้ใช้ระบบแลบกว้างยิ่ง ได้ภายในอาคารเท่านั้นเหมือนกับที่กำหนดโดย ETSI ที่ได้แก้ไขใหม่ โดยมีช่วงแถบความถี่ใช้งานสองแถบ คือ แถบความถี่ต่ำตั้งแต่ 3.4-4.8 GHz และแถบความถี่สูงตั้งแต่ 7.25-10.25 GHz ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.4 และกราฟสเปกตรัมมาร์คได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.4 [13].

ตารางที่ 2.4 ข้อกำหนดระดับ PSD ที่แผ่กระจายออกมาสำหรับการสื่อสารภายในอาคารเท่านั้นที่กำหนดโดย MIC

ความถี่ (GHz)	PSD (dBm/MHz)
น้อยกว่า 1.6	-90
1.6-2.7	-85
2.7-3.4	-70
3.4-4.8	-41.3
4.8-7.25	-70
7.25-10.25	-41.3
มากกว่า 10.25	-70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปยังบุคคลภายนอก

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมสำหรับการสื่อสารภายในอาคาร ที่กำหนดโดย MIC [3]

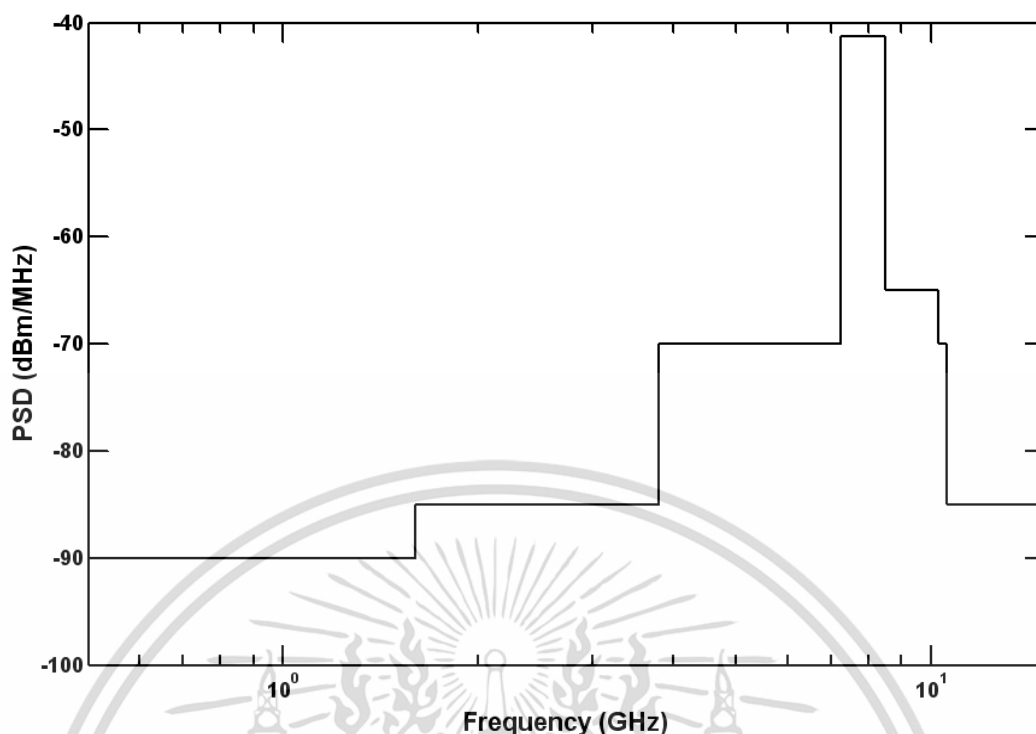
2.3.4 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่ง ที่ใช้ร่วมกัน

ปัจจุบันได้มีการร่วมมือกันระหว่างประเทศสหรัฐอเมริกา กลุ่มประเทศในยุโรป และประเทศญี่ปุ่น โดยมีการกำหนดให้ใช้ข้อกำหนดระดับ PSD ที่แพร่กระจายออกมารวมกัน โดยยึดให้เป็นไปตามข้อกำหนดของ FCC, ETSI และ MIC พร้อมกัน เป็นข้อกำหนดที่อนุญาตให้ใช้ระบบแถบกว้างยิ่ง ได้ภายในอาคารเท่านั้น มีช่วงแถบความถี่ใช้งานเป็น 7.25-8.50 GHz โดยที่ความถี่ต่ำ 7.25 GHz เป็นข้อกำหนดของ MIC และความถี่สูง 8.50 GHz เป็นข้อกำหนดของ ETSI ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.5 และกราฟสเปกตรัมมาร์คได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.5 [14]

ตารางที่ 2.5 ข้อกำหนดระดับ PSD ที่แพร่กระจายออกมาสำหรับการสื่อสารแถบความถี่ร่วม

ความถี่ (GHz)	PSD (dBm/MHz)
น้อยกว่า 1.6	-90
1.6-3.8	-85
3.8-7.25	-70
7.25-8.50	-41.3
8.5-10.25	-65
10.25-10.6	-70
มากกว่า 10.6	-85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมสำหรับการสื่อสารภายในอาคาร ที่กำหนดร่วมกัน โดย FCC, ETSI และ MIC [14]

2.4 มาตรฐานของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง

มาตรฐานของระบบแถบกว้างยิ่ง-IR มีอยู่ 3 มาตรฐาน คือ IEEE 802.15.3a ใช้สำหรับโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลไร้สาย (Wireless Personal Area Network: WPAN) ระยะทางใกล้ อัตราการส่งข้อมูลสูง IEEE 802.15.4a ใช้สำหรับ WPAN ระยะทางไกล อัตราส่งข้อมูลต่ำ และ IEEE 802.15.6 ใช้สำหรับระบบโครงข่ายพื้นที่ร่างกายไร้สาย (Wireless Body Area Network: WBAN)

2.4.1 มาตรฐาน IEEE 802.15.4

มาตรฐาน IEEE 802.15.4 ได้พยายามปรับปรุงอัตราการส่งของมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ให้สูงขึ้นโดยการนำเอาเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง มาใช้ ซึ่งมีจุดประสงค์จะนำมาใช้กับ WPAN โดยมีระยะทางการใช้งานถึง 10 m ที่อัตราการส่งข้อมูล 110 Mbps และที่ระยะทางใกล้คือประมาณ 2 m สามารถมีอัตราส่งข้อมูลได้สูงถึง 480 Mbps [15] แต่เกิดปัญหาเนื่องจากไม่สามารถตกลงกันได้ว่า จะเลือกใช้เทคโนโลยีไหนระหว่างการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่ตั้งฉากหลายแถบ (Multi-Band Orthogonal Frequency Division Multiplexing: MB-OFDM) กับแถบกว้างยิ่งลำดับตรง (Direct Sequence Ultra Wideband: DS-UWB) ซึ่งได้รับการสนับสนุนจากสองบริษัทพันธมิตร และในเดือนมกราคม ปี ค.ศ. 2006 มาตรฐานนี้ได้ถูกยกเลิกไป

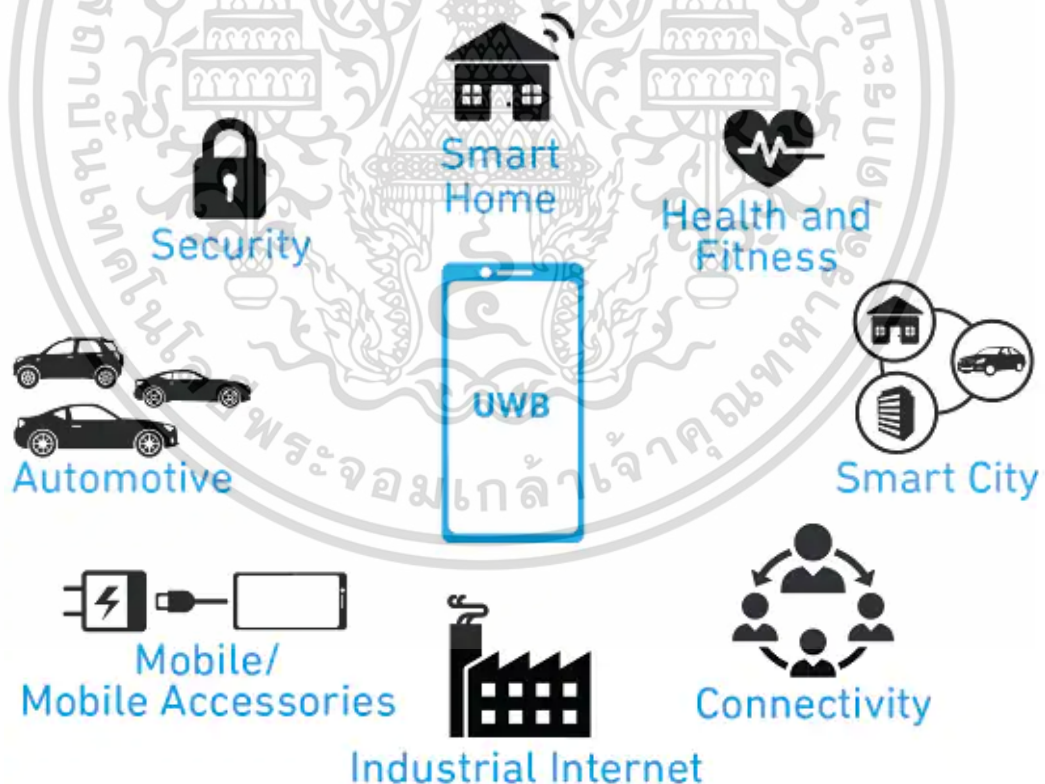
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 มาตรฐาน IEEE 802.15.4a

มาตรฐาน IEEE 802.15.4a ได้มีการนำเอาเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง มาประยุกต์ใช้สำหรับ WPAN โดยปรับปรุงให้มีระยะทางการใช้งานที่ไกลขึ้นได้ถึงประมาณ 100 m โดยลดอัตราส่งข้อมูลลง มีอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ที่นาน รวมทั้งมีราคาถูก สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับระบบโครงข่าย การตรวจจับไร้สาย และระบบการหาตำแหน่งที่มีความเที่ยงตรงสูง การส่งสัญญาณมีพื้นฐานอยู่บน เทคนิคการส่งพัลส์ที่มีความกว้างของพัลส์แคบมากประมาณได้เป็นอิมพัลส์ จึงเป็นที่มาของชื่อแถบ กว้างยิ่ง-IR [16]

2.4.3 มาตรฐาน IEEE 802.15.6

มาตรฐาน IEEE 802.15.6 เป็นมาตรฐานที่ตั้งขึ้นมาใหม่สำหรับนำมาประยุกต์ใช้กับ WBAN โดยมีการใช้งานสำคัญคือตรวจสอบสภาพร่างกายของผู้ป่วย วินิจฉัยโรค รวมทั้งควบคุมเชื้อโรค WBAN ทำงานบริเวณใกล้กับ ติดอยู่กับ หรือภายในร่างกายของมนุษย์ โดยมีการใช้งานส่งข้อมูลระหว่างโนด ภายในร่างกาย และส่งข้อมูลจากร่างกายไปยังอุปกรณ์ การประยุกต์ใช้ทั้งทางการแพทย์หรือด้าน อื่น [17]



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์ประเภทต่าง ๆ สำหรับระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง [18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.8 แสดงถึงการประยุกต์ใช้ในระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่กำลังได้รับความนิยม และใช้งานเพื่อเชื่อมต่อและถ่ายโอนข้อมูลในปริมาณมาก ๆ สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสาร 4G (4 Generation) รูปแบบหนึ่งของระบบแถบกว้างยิ่ง ที่ถูกนำมาใช้งาน คืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ไร้สายและใช้ถ่ายโอนข้อมูล ระหว่าง Host และอุปกรณ์ต่อพ่วงที่เกี่ยวข้อง เช่น คีย์บอร์ด เมาส์ เครื่องพิมพ์ สแกนเนอร์ และอื่น ๆ เป็นต้น ซึ่งต่อไปในอนาคตข้างหน้าเทคโนโลยีระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง จะนำเข้ามาแทนที่เทคโนโลยีระบบการสื่อสารแบบใช้สาย โดยสามารถถ่ายโอนข้อมูลในปริมาณมาก และรองรับผู้ใช้งานได้มาก อีกทั้งยังสามารถส่งข้อมูลที่อัตราความเร็ว 1000 Kbps สำหรับเมาส์แบบไร้สาย และส่งข้อมูลที่อัตราความเร็ว 100 Mbps สำหรับการถ่ายโอนไฟล์ด้วยความรวดเร็ว เช่นดาวน์โหลดภาพหรือไฟล์กราฟิก เป็นต้น และยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานเพิ่มเติมกับระบบที่เกี่ยวข้องกับสตรีมมิ่งของไฟล์สื่อดิจิทัลระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เครื่องใช้ไฟฟ้า เช่นโทรทัศน์ดิจิทัล เครื่องเล่น CD/DVD เครื่องเล่น MP3 และอื่น ๆ เป็นต้น โดยสรุปแล้ว ระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง ถูกมองว่าเป็นเทคโนโลยีที่กำลังเจริญเติบโตและมีประโยชน์อย่างมากสำหรับการนำไปใช้งานร่วมกับระบบการสื่อสาร WPAN ระยะสั้นที่กำลังมีการใช้งานอยู่ในปัจจุบัน อาทิเช่น ระบบการสื่อสาร 802.11 LANs หรือ บลูทูธ เป็นต้น

ในขณะเดียวกัน หนึ่งในเทคโนโลยีที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานโดยอาศัยข้อได้เปรียบของระบบแถบกว้างยิ่ง นั่นก็คืออุปกรณ์ USB แบบไร้สาย หรือ WUSB (Wireless Universal Serial Bus) WUSB ได้ทำการพัฒนาเป็นเทคโนโลยีไร้สายแบบใหม่ของอุปกรณ์ USB แบบดั้งเดิม โดยทำการผสมผสานระหว่างความเร็วและความปลอดภัยของเทคโนโลยีแบบมีสาย เพื่ออำนวยความสะดวกและง่ายต่อการใช้งานสำหรับเทคโนโลยีไร้สาย WUSB ที่ใช้งานสำหรับระบบแถบกว้างยิ่ง ได้ถูกกำหนดโดย WiMedia ภายใต้มาตรฐาน IEEE 802.15.3a ซึ่งทำงานบนช่วงแถบความถี่ 3.1 GHz - 10.6 GHz

WUSB รองรับอัตราการส่งข้อมูลที่ 480 Mbps ภายในระยะทาง 2 เมตร และความเร็วในการส่งข้อมูลจะเริ่มลดลง เหลือประมาณ 110 Mbps เมื่อระยะทางของการส่งข้อมูลไกลมากขึ้น และยังสามารถส่งข้อมูลได้อีกเมื่อระยะทางไกลขึ้น (ไม่เกิน 10 เมตร) WUSB ยังเป็นอุปกรณ์ที่สนับสนุนการทำงานสองหน้าที่ (Dual-role device) คือ สามารถทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ Client และ Host โดยสามารถควบคุมความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูลได้ ยกตัวอย่างเช่น กล้องดิจิทัลทำหน้าที่เป็น Client แล้วเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ จากนั้นทำการถ่ายโอนไฟล์ภาพไปยังเครื่องพิมพ์ที่ทำหน้าที่เป็น Host เป็นต้น

2.5 จุดเด่นของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง

ถ้าจะกล่าวถึงระบบแถบกว้างยิ่งหรือรวมถึงอิมพัลส์ (Impulse) พัลส์แคบ (Short-pulse) สัญญาณที่ไม่ใช่ไซน์ซุชอยดัล (Non-sinusoidal) สัญญาณที่ปราศจากคลื่นพาห์ (Carrier less) แถบกว้างยวดยิ่ง (Super Wideband) การอัดพัลส์แบบเอฟเอ็่มอย่างรวดเร็ว (Fast Frequency Chirp) และ

พัลส์แบบโมโน (Mono-pulse) ซึ่งเป็นระบบที่มีจุดเด่นที่น่าสนใจสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ใน ระบบสื่อสารอาทิ เช่น

- เป็นระบบที่มีความซับซ้อนน้อยและมีต้นทุนต่ำ

ความซับซ้อนน้อยและมีต้นทุนที่ต่ำของระบบแถบกว้างยิ่งเกิดขึ้นจากปัจจัยทางลักษณะ เบสแบนด์ (Baseband) ของการส่งสัญญาณซึ่งไม่เหมือนกับระบบการส่งสัญญาณวิทยุแบบอื่นๆ โดยที่เครื่องส่งจะทำการสร้างสัญญาณพัลส์ในโดเมนทางเวลาที่มีความกว้างของสัญญาณน้อยมากๆ ซึ่งสามารถที่จะแพร่กระจายคลื่นออกไปโดยปราศจากการเพิ่มความถี่วิทยุหรือคลื่นพาห้รวมเข้าไป และในส่วนของ การรวมสัญญาณวิทยุ นั้นจะเป็นการนำเอาสัญญาณเบสแบนด์รวมเข้าไปกับคลื่นพาห้ เพื่อย้ายสัญญาณไปยังแถบความถี่ที่มีคุณลักษณะในการแพร่กระจายคลื่นตามต้องการซึ่งสัญญาณจะถูกแพร่กระจายได้ดีโดยไม่ต้องอาศัยการแปลงความถี่ให้สูงขึ้น (Up-conversion) และการเพิ่มกำลังให้สูงขึ้น (Amplification) โดยในการแปลงความถี่ลง (Down-conversion) และตัวผลิตความถี่ (Local Oscillator) จึงไม่จำเป็นในเครื่องรับแบบแถบกว้างยิ่งด้วยเช่นกันทำให้ลดความซับซ้อนของระบบและต้นทุนในการผลิตลงไปมาก

- มีระดับของสัญญาณใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวน (Noise)

เนื่องจากความหนาแน่นของพลังงานต่ำและลักษณะเฉพาะในการสุ่มเทียม (Pseudo-random) ของสัญญาณส่งจึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนี้มีลักษณะคล้ายกับสัญญาณรบกวน ซึ่งทำให้การตรวจหาสัญญาณทำได้ยากและยังปรากฏในเอกสารทางการวิจัยว่าการส่งสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนั้นไม่ก่อให้เกิดผลการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบคลื่นความถี่วิทยุอื่นๆ เนื่องจากสัญญาณของระบบแถบกว้างยิ่ง นั้น มีการแพร่กระจายกำลังงานในระดับต่ำประมาณระดับของสัญญาณรบกวน (Noise floor) จึงทำให้ระบบอื่นมองว่าสัญญาณแถบกว้างยิ่ง นี้ คือ สัญญาณรบกวนเลยถูกกำจัดออกจากการพิจารณาของระบบ

- มีความต้านทานต่อคลื่นหลายวิถีและการรบกวนของสัญญาณใกล้เคียง

ระบบการมอดูเลตทางเวลา (Time Modulation) แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะทำการส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงในระดับหลักร้อยเมกะบิตต่อวินาทีอีกทั้งยังได้ถูกประเมินในส่วนของจำนวนของผู้ใช้งานในระบบการสื่อสารแบบคลื่นวิทยุแบบอิมพัลส์ว่าได้จำนวนที่มากกว่าระบบทั่วไป และเนื่องด้วยมีแบนด์วิดท์ของสัญญาณส่งที่กว้างจึงทำให้ได้รับผลจากคลื่นหลายวิถีอย่างมาก เมื่อระบบมีแบนด์วิดท์ที่กว้างนั้นทำให้เกิดความแตกต่างทางความถี่อย่างมาก ซึ่งเมื่อรวมเข้ากับการส่งสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องจึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งที่มีการมอดูเลตทางเวลานั้นมีความต้านทานต่อการแพร่กระจายของคลื่นหลายวิถีที่รุนแรง และการรบกวนหรือแทรกสอดจากสัญญาณความถี่ใกล้เคียงได้

- มีความละเอียดสูงในโดเมนเวลาสำหรับการกำหนดตำแหน่งและการประยุกต์ใช้ในระบบติดตาม (Tracking)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยพัลส์ที่มีลักษณะทางโดเมนเวลาที่แคบมากๆ หรืออาจกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่าเป็นพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณน้อยมากๆ นั้นหมายถึง ระบบคลื่นวิทยุแบบแถบกว้างยิ่งมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถควบคุมจังหวะและค่านวนเวลาได้อย่างถูกต้องแม่นยำมากกว่าระบบดาวเทียมบอกพิกัด (Global positioning system: GPS) และระบบคลื่นวิทยุแบบอื่นๆ อีกทั้งด้วยคุณสมบัติในการแพร่กระจายผ่านวัสดุได้ดี จึงทำให้สัญญาณแถบกว้างยิ่ง ที่มีการมอดูเลตทางเวลาถูกนำมาใช้งานในระบบเรดาร์ระยะสั้น เช่นในการช่วยเหลือชีวิตและปฏิบัติการป้องกันอาชญากรรม เช่นเดียวกับการใช้งานสำรวจและในอุตสาหกรรมการทำเหมืองแร่ เป็นต้น

ดังนั้นสายอากาศแถบกว้างจึงมีความสำคัญยิ่งสำหรับระบบแถบกว้างยิ่งจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ ในการประเมินผลประสิทธิภาพของสายอากาศ และความเพี้ยนของการส่งผ่านช่องสัญญาณที่สำคัญเช่นกัน วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอสายอากาศแถบกว้างแบบกรวยคู่และการประมาณผลช่องสัญญาณการส่งผ่านด้วยการยอดต่อสูตรการส่งผ่านของฟรีสในโดเมนเวลาและนำเสนอเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ในการให้สัญญาณเหมาะสมที่สุดสำหรับการวิเคราะห์ความเพี้ยนของสัญญาณรูปคลื่นสำหรับระบบแถบกว้างยิ่ง

2.6 สรุป

บทนี้ได้กล่าวถึงประวัติความเป็นมาการสื่อสารแถบกว้างยิ่งตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ข้อกำหนดต่าง ๆ ของระบบข้อดี-ข้อเสีย และลักษณะเด่นต่าง ๆ ที่น่าสนใจของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งสำหรับประยุกต์ใช้กับระบบการสื่อสารไร้สาย เช่น ราคาต้นทุนต่ำ มีความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมต่ำ ต้านทานต่อคลื่นหลายวิถี และมีความละเอียดสูงในโดเมนเวลา เป็นต้น โดยที่ FCC ได้กำหนดให้สัญญาณที่ใช้ส่งของระบบแถบกว้างยิ่ง มีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนมากกว่าหรือเท่ากับ 0.2 หรือมีแบนด์วิดท์มากกว่าหรือเท่ากับ 500 MHz นอกจากนี้ยังมี การร่วมมือกันขององค์กรกลุ่มประเทศสหรัฐอเมริกา กลุ่มประเทศในยุโรป และประเทศญี่ปุ่น ออกกฎข้อบังคับเพื่อเป็นหลักฐานในการพิสูจน์ว่าสัญญาณแถบกว้างยิ่ง ที่นำมาใช้งานไม่ไปรบกวนหรือแทรกสอดระบบการสื่อสารแถบแคบอื่น ๆ ในส่วนสุดท้ายของเนื้อหาในบทนี้ยังได้กล่าวถึงปัญหาที่มาของงานวิจัยก่อนหน้านี้ และได้เสนอวิธีการใหม่ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และกล่าวถึงมาตรฐานของระบบแถบกว้างยิ่งซึ่งแบ่งออกเป็น 3 มาตรฐานด้วยกันดังนี้ มาตรฐาน IEEE 802.15.4 สำหรับอัตราการส่งข้อมูลที่สูง WPAN ส่วนมาตรฐาน IEEE 802.15.4a สำหรับอัตราการส่งข้อมูลที่ต่ำ และมาตรฐาน IEEE 802.15.6 สำหรับระบบ WBAN.

บทที่ 3

การประเมินผลช่องสัญญาณส่งผ่านแถบกว้างยิ่ง

3.1 บทนำ

การประเมินผลรูปคลื่นส่งผ่านของแถบกว้างยิ่ง มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องศึกษาวิเคราะห์ เพื่อคุณภาพและสามารถนำไปประยุกต์ใช้จริงสำหรับการสื่อสารระยะสั้น ซึ่งมีอัตราการรับส่งข้อมูลที่สูง และเป็นการสื่อสารแบบไร้สายที่มีกำลังส่งต่ำ สามารถลดการแทรกสอดที่เกิดขึ้นในระบบแถบกว้างยิ่ง มีความคาดหวังว่ามาใช้กับสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร

ระบบสื่อสารแบบแถบความถี่แคบ การเชื่อมโยงของการสูญเสียเชิงวิถีในอวกาศว่างปกติจะประเมินผลโดยสูตรการส่งผ่านของฟรีส [19] แต่เราไม่สามารถที่จะนำมาใช้ได้โดยตรงกับระบบการส่งผ่านแถบกว้างยิ่ง ดังที่มีการแสดงด้วยฟังก์ชันของความถี่ ยิ่งไปกว่านั้นรูปคลื่นอาจเกิดความผิดเพี้ยนเนื่องจากคุณสมบัติความถี่ของสายอากาศ [20]-[21] ซึ่งเป็นกรณีพิเศษที่มีอัตราการขยายคงที่ และพารามิเตอร์ที่นำมาวิเคราะห์คงที่ แต่ไม่มีการกล่าวถึง ถึงแม้จะมีการแนะนำเกี่ยวกับการใช้ขนาด และความยาวของสายอากาศในทางโดเมนเวลาก็ตาม

3.2 แบบจำลองการส่งผ่านระบบแถบกว้างยิ่ง

สูตรการส่งผ่านของฟรีสได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวาง และสามารถประยุกต์ใช้ในการคำนวณสำหรับช่องสัญญาณในระดับสายตา ครั้งนี้ด้วย

$$\begin{aligned} G_{\text{Friis}}(f) &= \frac{P_r(f)}{P_t(f)} \\ &= G_f(f, d) G_t(f, \Omega_t) G_r(f, \Omega_r) \eta_p(f) \end{aligned} \quad (3.1)$$

เมื่อ f เป็นความถี่ที่ใช้งาน d เป็นระยะทางระหว่างสายอากาศ Tx และ Rx $P_t(f)$ และ $P_r(f)$ เป็นกำลังอินพุตเข้าไปยังสายอากาศ Tx และกำลังเอาต์พุตออกจากสายอากาศ Rx ตามลำดับ $G_t(f, \Omega_t)$ และ $G_r(f, \Omega_r)$ เป็นอัตราขยายประสิทธิผลของสายอากาศ Tx และ Rx ตามลำดับ $G_f(f, d)$ เป็นอัตราขยายการแพร่กระจายอวกาศว่าง และ $\eta_p(f)$ เป็นประสิทธิภาพการแมตซ์โพลาริซั อัตรการแพร่กระจายอวกาศว่างสามารถเขียนได้เป็น

$$G_f(f, d) = \left(\frac{c}{4\pi df} \right)^2 \quad (3.2)$$

เมื่อ c เป็นความเร็วแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับระบบแถบกว้างยิ่ง การเชื่อมโยงอวกาศว่างถูกทำให้เป็นสุตตรในทอมของฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ที่พิจารณารูปคลื่นส่ง ความถี่ที่เกิดจากสายอากาศ ช่องสัญญาณ และเครื่องรับ สหสัมพันธ์ ฟังก์ชันถ่ายโอนอวกาศว่าง $H_f(f, d)$ สามารถเขียนได้เป็น

$$H_f(f, d) = \frac{c}{4\pi df} e^{-j2\pi fd/c} \quad (3.3)$$

ฟังก์ชันถ่ายโอนช่องสัญญาณอวกาศว่าง $H_c(f)$ ที่ได้รวมสายอากาศเข้าไปได้จากการใช้การขยายสูตรการส่งผ่านของฟรีสเป็น

$$H_c(f) = H_f(f, d) \mathbf{H}_t(f, \boldsymbol{\Omega}_t) \cdot \mathbf{H}_r(f, \boldsymbol{\Omega}_r) \quad (3.4)$$

เมื่อ $\mathbf{H}_a(f, \boldsymbol{\Omega}_a)$ ($a = t$ หรือ r) เป็นเวกเตอร์ฟังก์ชันถ่ายโอนเชิงซ้อนของสายอากาศเทียบกับสายอากาศไอโซทรอปิกในทิศทาง $\boldsymbol{\Omega}_a = (\theta_a, \varphi_a)$ นั่นคือ

$$\begin{aligned} \mathbf{H}_a(f, \boldsymbol{\Omega}_a) &= \mathbf{H}_a(f, \theta_a, \varphi_a) \\ &= \hat{\boldsymbol{\theta}}_a H_{a\theta}(f, \theta_a, \varphi_a) + \hat{\boldsymbol{\phi}}_a H_{a\phi}(f, \theta_a, \varphi_a) \end{aligned} \quad (3.5)$$

ซึ่งมีความสัมพันธ์เป็น

$$\frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \|H(f, \theta_a, \varphi_a)\|^2 \sin \theta d\theta d\varphi = \eta_a \quad (3.6)$$

เมื่อ η_a เป็นประสิทธิภาพสายอากาศ ดังนั้น ค่านี้จึงถูกนอร์มัลไลซ์ด้วยสายอากาศไอโซทรอปิกเวกเตอร์หนึ่งหน่วย $\hat{\boldsymbol{\theta}}_a$ และ $\hat{\boldsymbol{\phi}}_a$ แสดงการโพลาไรซ์และถูกนิยามเทียบกับพิกัดทรงกลมของแต่ละสายอากาศ ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้เป็น

$$\hat{\boldsymbol{\theta}}_t = \hat{\boldsymbol{\theta}}_r \quad (3.7)$$

$$\hat{\boldsymbol{\phi}}_t = -\hat{\boldsymbol{\phi}}_r \quad (3.8)$$

จากการแสดงโดยใช้เวกเตอร์ $\eta_p(f)$ ในสมการที่ (3.1) ได้ถูกพิจารณาเข้าไปด้วย

สำหรับสายอากาศ Tx และ Rx ที่เหมือนกันและเป็นไปตามสมการที่ (3.7) และ (3.8)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชันถ่ายโอนเชิงซ้อนของสายอากาศ Tx และ Rx สามารถเขียนได้เป็น

$$H_t(f) = H_r(f) = \sqrt{\frac{H_c(f)}{H_f(f, d)}} \quad (3.9)$$

รูปคลื่นเครื่องรับ $v_r(t)$ ถูกกำหนดโดย

$$v_r(t) = \int_{-\infty}^{\infty} H_c(f) V_t(f) e^{j2\pi ft} df \quad (3.10)$$

เมื่อ $V_t(f)$ เป็นสเปกตรัมของรูปคลื่นส่ง

3.3 การสหสัมพันธ์ทางด้านรับ

เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ที่แสดงในรูปที่ 3.1 เมื่อพิจารณาถึง SNR เอาต์พุตจะขึ้นอยู่กับ การเลือกรูปคลื่นต้นแบบ ดังนั้น เอาต์พุตของเครื่องรับสหสัมพันธ์ $v_o(\tau)$ แสดงได้เป็น

$$v_o(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v_r(t) h_w(t - \tau) dt \quad (3.16)$$

เมื่อ $h_w(t)$ เป็นรูปคลื่นต้นแบบ และ τ สอดคล้องกับการทำเวลาของรูปคลื่นต้นแบบ การทำเวลาที่ เหมาะสมที่สุด τ_0 ถูกเลือกเป็น

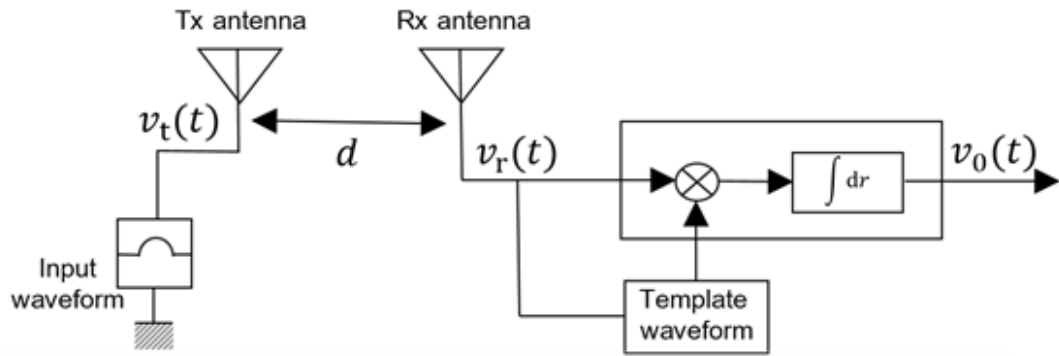
$$\tau_0 = \arg[\max |v_o(\tau)|] \quad (3.17)$$

ต่อจากนี้ไป $h_w(t)$ จะถูกนอร์มัลไลซ์เป็น

$$\int_{-\infty}^{\infty} |h_w(t)|^2 dt = 2B \quad (3.18)$$

เมื่อ B เป็นแบนด์วิธของสัญญาณ ดังนั้น กำลังสัญญาณรบกวนเอาต์พุตเป็นค่าคงที่เท่ากับ $N_0 B$ เมื่อ $N_0/2$ เป็นความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมของสัญญาณรบกวนไวท์เกาส์แบบบวก (Additive White Gaussian Noise: AWGN)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของแบบจำลองการส่งผ่านสำหรับระบบแถบกว้างยิ่ง

ภายใต้ข้อจำกัดของสมการที่ (3.13) $h_{wm}(t)$ จะทำให้ $v_o(\tau_0)$ มีค่ามากที่สุดเมื่อ $h_{wm}(t)$ เป็นเวลาย้อนกลับและเป็นการสเกลของ $v_r(t)$ นั่นคือ

$$h_{wm}(t) = \frac{\sqrt{2B}v_r(\tau_0 - t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |v_r(t)|^2 dt}} \quad (3.19)$$

เมื่อ τ_0 จะถูกเลือกเพื่อทำให้ $h_{wm}(t) = 0$ สำหรับ $t < 0$ ซึ่งเป็นไปตามความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผล ต่อจากนี้ไป $h_{wm}(t)$ จะถูกเรียกว่ารูปคลื่นต้นแบบสัญญาณที่รับได้ สังเกตได้ว่าการประเมินผลการเชื่อมโยงมีค่าเท่ากับใน [22] เมื่อ $h_{wm}(t)$ ถูกใช้เป็นสัญญาณต้นแบบของเครื่องรับ

3.4 ความเป็นไปได้ของเครื่องรับสหสัมพันธ์ที่เหมาะสมที่สุด

สังเกตได้จากสมการที่ (3.19) รูปคลื่นต้นแบบสัญญาณที่รับได้ ไม่ได้เป็นเวลาย้อนกลับอย่างง่ายของรูปคลื่นส่ง แต่ได้รวมคุณสมบัติความถี่ของสายอากาศและการแพร่กระจายในอวกาศว่าง ดังนั้น สามารถที่จะปรับเปลี่ยนรูปคลื่นต้นแบบตามคุณสมบัติสายอากาศที่ขึ้นอยู่กับมุม เนื่องจากรูปคลื่นจะถูกสร้างที่ความถี่ของสัญญาณนาฬิกาอย่างน้อยสองเท่าของความถี่สูงสุดของสัญญาณ ดังนั้น จะทำการพิจารณารูปคลื่นต้นแบบแบบบัญญัติ $h_{wc}(t)$ ในบทความนี้ได้เลือก $h_{wc}(t)$ ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสายอากาศไอโซทรอปิกที่มีอัตราขยายคงที่ นั่นคือ

$$h_{wc}(t) = \frac{\sqrt{2B}v_{r\text{-iso}}(\tau_0 - t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |v_{r\text{-iso}}(t)|^2 dt}} \quad (3.20)$$

เมื่อรูปคลื่นอินพุตเครื่องรับสำหรับกรณีของสายอากาศไอโซทรอปิกถูกใช้ทั้งสองด้าน $v_{r\text{-iso}}(t)$ สามารถเขียนได้เป็น

$$v_{r\text{-iso}}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} H_f(f, d)V_t(f)e^{j2\pi ft} df \quad (3.21)$$

3.5 อัตราขยายการส่งผ่านแถบกว้างยิ่ง

อัตราขยายการส่งผ่านแถบกว้างยิ่งในวิทยานิพนธ์นี้ นิยามเป็นแอมพลิจูดค่ายอดของเอาต์พุตเครื่องรับสหสัมพันธ์ที่ใช้สายอากาศที่พิจารณานอร์แมลไลซ์ด้วยแอมพลิจูดค่ายอดของเอาต์พุตเครื่องรับสหสัมพันธ์ที่ใช้สายอากาศไอโซทรอปิกทั้งสองด้าน จากการทำนอร์แมลไลซ์ของรูปคลื่นต้นแบบในสมการที่ (3.19) และ (3.20) ค่าอัตราขยายนี้แสดงอัตราขยายของอัตรา SNR ดังนั้น อัตราขยายการส่งผ่านของกรณีต้นแบบสัญญาณที่ได้รับได้ G_{wm} ในหน่วย dBi สามารถเขียนได้เป็น

$$G_{wm} = 20 \log \left(\frac{\max \left| \int_{-\infty}^{\infty} v_r(t) h_{wm}(t - \tau) dt \right|}{\max \left| \int_{-\infty}^{\infty} v_{r\text{-iso}}(t) h_{wc}(t - \tau) dt \right|} \right) \quad (3.22)$$

ในทำนองเดียวกัน อัตราขยายการส่งผ่านของกรณีต้นแบบไอโซทรอปิก G_{wc} ในหน่วย dBi สามารถเขียนได้เป็น

$$G_{wc} = 20 \log \left(\frac{\max \left| \int_{-\infty}^{\infty} v_r(t) h_{wc}(t - \tau) dt \right|}{\max \left| \int_{-\infty}^{\infty} v_{r\text{-iso}}(t) h_{wc}(t - \tau) dt \right|} \right) \quad (3.23)$$

อัตราขยายในการส่งผ่านแถบกว้างยิ่งของกรณีการสหสัมพันธ์เอาต์แบบสัญญาณที่ได้รับได้ และกรณีต้นแบบไอโซทรอปิกนั้นได้แสดงให้เห็นถึงปริมาณความเพี้ยนของรูปคลื่น ซึ่งแตกต่างจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรการส่งผ่านของพรีสแบบดั้งเดิมโดยที่อัตราการส่งผ่านที่เหมาะสมที่สุดของสัญญาณแถบกว้างยิ่งไม่สามารถแสดงเป็นนิยามอย่างง่ายโดยการคูณกันของอัตราขยายของสายอากาศรับ-ส่งสองกรณี

3.6 รูปคลื่นส่งผ่านของระบบแถบกว้างยิ่ง

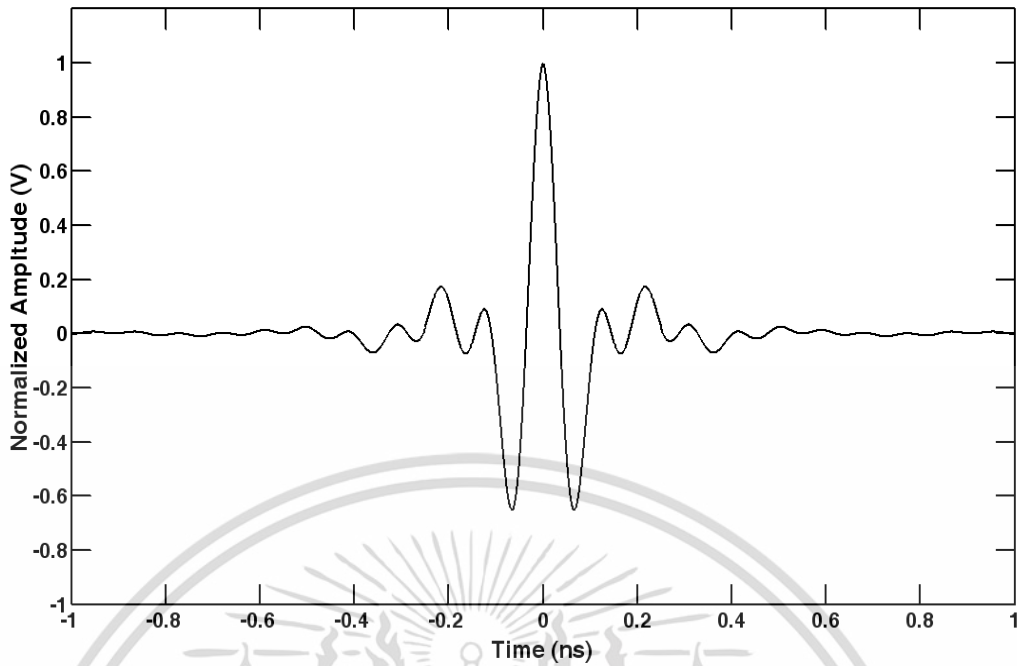
ผลกระทบของความเพี้ยนของรูปคลื่นจะเห็นได้ชัดมากขึ้นเมื่อแบนด์วิดท์กว้างมากขึ้น ดังนั้นจึงได้ทำการพิจารณารูปคลื่นที่ครอบคลุมแถบความถี่ทั้งหมดของ FCC นั่นคือ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz และแถบความถี่ร่วมระหว่าง FCC ของสหรัฐอเมริกา การประชุมสหภาพยุโรปของคณะบริหารไปรษณีย์และโทรคมนาคม/คณะกรรมการการสื่อสารอิเล็กทรอนิกส์ (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations/Electronic Communications Committee: CEPT/ECC) ของยุโรป และกระทรวงมหาดไทยและการสื่อสาร (Ministry of Internal Affairs and Communications: MIC) ของญี่ปุ่น นั่นคือ 7.25 GHz ถึง 8.50 GHz รูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของโรซีโคชานน์ ฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัม $V_{t,ro}$ แสดงได้ดังนี้

$$V_{t,ro}(f) = \begin{cases} 1 & \|f - f_c\| \leq \frac{1 - \beta}{2T} \\ A \frac{(1 - \beta)}{2T} & \frac{(1 - \beta)}{2T} < \|f - f_c\| \leq \frac{(1 + \beta)}{2T} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (3.24)$$

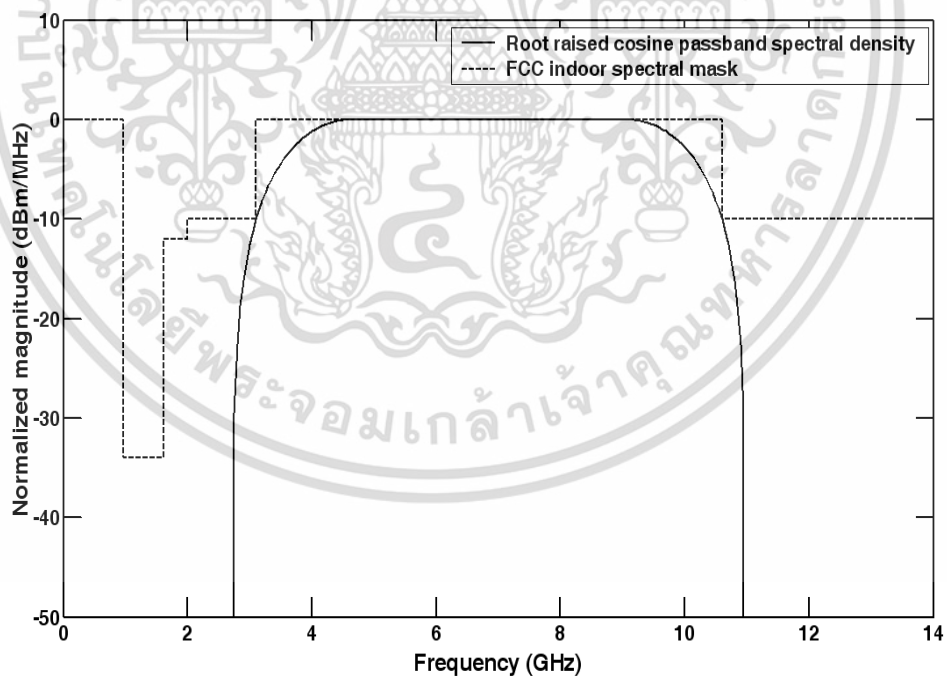
โดยเมื่อ

$$A = \sqrt{\frac{1}{2} \left[1 + \cos \left(\frac{\pi T}{\beta} \left[\|f - f_c\| - \frac{1 - \beta}{2T} \right] \right) \right]}, \quad (3.25)$$

$T = 1/f_b$ เป็นส่วนกลับของอัตราสัญลักษณ์ f_b เป็นสเปกตรัมแบนด์วิดท์ f_c เป็นความถี่กลาง $\beta = 0.3$ เป็นเฟคเตอร์ลาดเอียง ซึ่งได้พิจารณาเป็นไปตามเงื่อนไขข้อกำหนดสเปกตรัมมาสค์ (Spectrum mask) ของ FCC กำหนดให้ f_c มีค่าเท่ากับ 6.85 GHz f_b มีค่าเท่ากับ 6.37 GHz รูปคลื่นสัญญาณส่งของระบบแถบกว้างยิ่งตามข้อกำหนดของ FCC และแถบความถี่ร่วม แสดงดังรูปที่ 3.1 และ 3.3 ตามลำดับ และความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมของสัญญาณส่งตามข้อกำหนดของ FCC และแถบคามถี่ร่วม แสดงดังรูปที่ 3.2 และ 3.4 ตามลำดับ

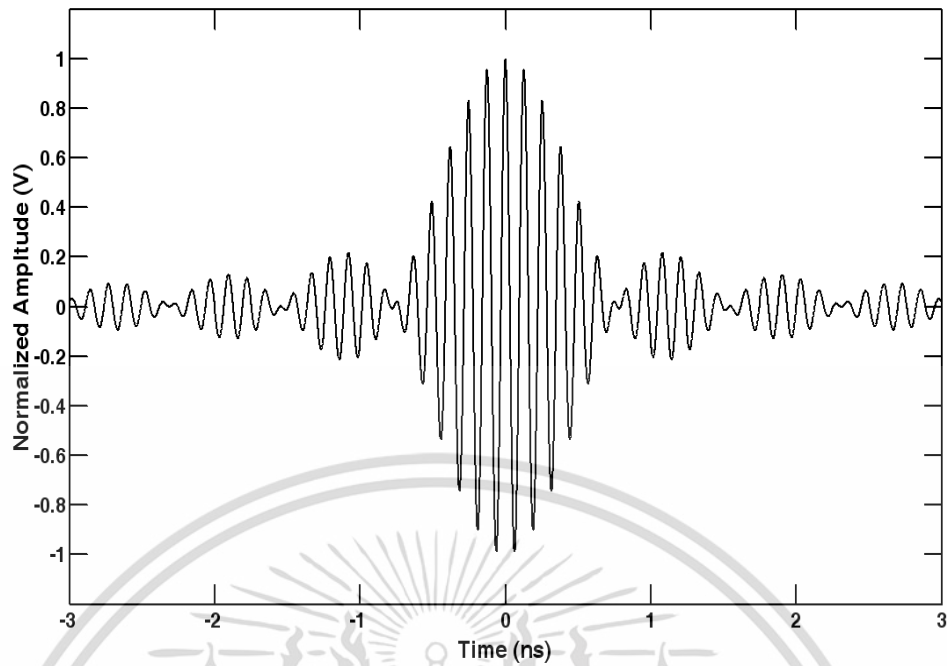


รูปที่ 3.2 รูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของโรซีโคซายน์ที่ถูกนอร์มัลไลซ์เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์สคของ FCC ที่ช่วงความถี่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz.

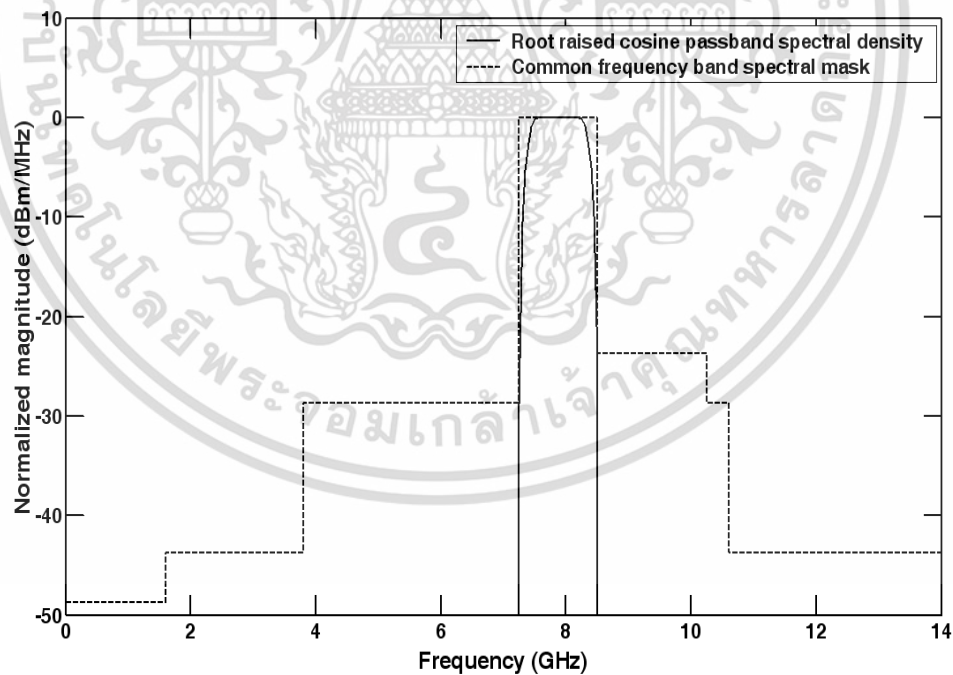


รูปที่ 3.3 ความหนาแน่นสเปกตรัมที่ถูกนอร์มัลไลซ์ของรูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของโรซีโคซายน์ที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์สค FCC ที่ช่วงความถี่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 รูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของไรซ์โคซายน์ที่ถูกนอร์มัลไลซ์เป็นไปตามสเปกตรัมมาส์คของแถบความถี่ร่วมช่วงความถี่ 7.25 GHz ถึง 8.50 GHz.



รูปที่ 3.5 ความหนาแน่นสเปกตรัมที่ถูกนอร์มัลไลซ์ของรูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของไรซ์โคซายน์ที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาส์คแถบความถี่ร่วมที่ช่วงความถี่ 7.25 GHz ถึง 8.50 GHz.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 สรุป

บทนี้ได้กล่าวถึงหลักการประเมินผลของช่องสัญญาณส่งผ่านระบบแถบกว้างยิ่ง โดยได้แบ่งหัวข้อ ๆ เริ่มจากการประยุกต์ใช้สูตรการส่งผ่านสัญญาณของพรีส สำหรับระบบการส่งผ่านช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่ง จากนั้นได้นำเสนอทฤษฎีและวิธีการใหม่เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณของความเพี้ยนเชิงเฟส ซึ่งอาจมีสาเหตุที่เกิดจากเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณ พร้อมทั้งได้นำแบบจำลองของการถดถอยเชิงเส้นมาใช้สำหรับการวิเคราะห์ผล และได้นิยามสมการใหม่เพื่อปริมาณของความเพี้ยนเชิงเฟสที่เกิดขึ้นในระบบ ในส่วนภาครับได้พิจารณาใช้เครื่องรับสหสัมพันธ์ที่เหมาะสมที่สุด ด้วยการเปรียบเทียบรูปคลื่นต้นแบบจากสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศจริง และรูปคลื่นต้นแบบกรณีที่ใช้สายอากาศแบบไอโซทรอปิก ต่อมาได้หาความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นเกิดจากสายอากาศ หลังจากนั้นก็ทำการหาอัตราขยายการส่งผ่านของระบบแถบกว้างยิ่ง และในส่วนสุดท้ายได้กล่าวรูปคลื่นอินพุตตามข้อกำหนดของ FCC สองช่วงความถี่ที่ใช้สำหรับช่องสัญญาณการส่งผ่านระบบแถบกว้างยิ่ง



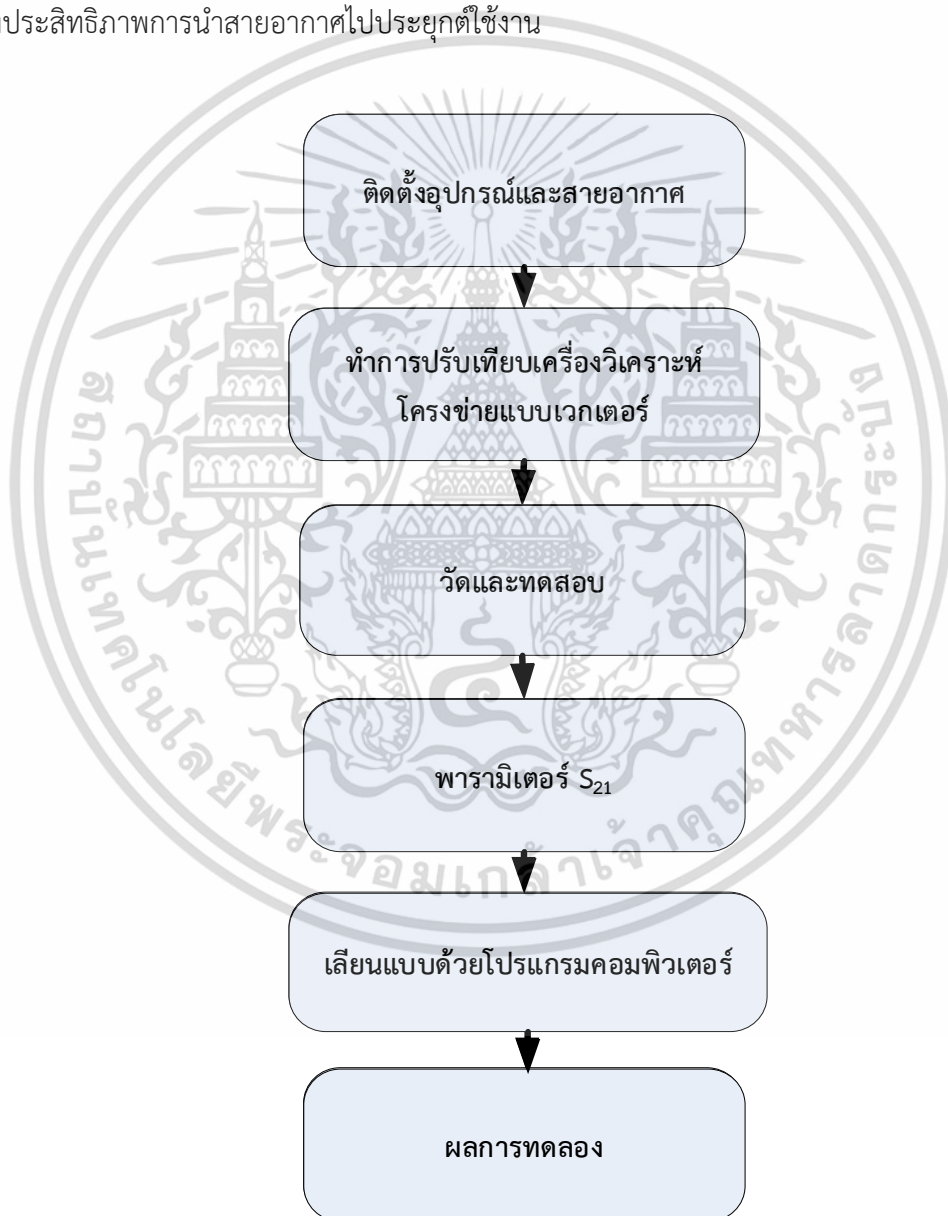
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองวิจัยการส่งผ่านสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

4.1 บทนำ

บทนี้ได้กล่าวถึงแบบแผนการทดลองวิจัย และการวัดฟังก์ชันการถ่ายโอนในห้องไร้การสะท้อนโดยพิจารณาความผิดเพี้ยนรูปคลื่นส่งผ่านแถบกว้างยิ่งอันเนื่องมาจากสายอากาศกรวยคู่ โดยได้แสดงแบบแผนการทดลองวิจัยดังบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 4.1 ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งในการแสดงถึงประสิทธิภาพการนำสายอากาศไปประยุกต์ใช้งาน



รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมการทดลองการวัดช่องสัญญาณการผิดเพี้ยนเนื่องจากสายอากาศ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งในบทนี้เป็นการนำเสนอแบบแผนการวัดและแบบแผนการทดลอง โดยได้ทำการวัดในห้องไร้การสะท้อน ซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการประเมินผลประสิทธิภาพสายอากาศแบบกรวยคู่สำหรับเทคโนโลยีแถบกว้างที่ทำงานตอบสนองความถี่ครอบคลุมย่านแถบกว้างยิ่ง คือมากกว่า 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz และ 7.25 GHz ถึง 8.50 GHz ได้แสดงรายละเอียดขั้นตอนการทดลองวิจัยดังต่อไปนี้

4.2 ขั้นตอนในการเตรียมการทดลอง

4.2.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ รุ่น HP-8757D ชุดทดสอบพารามิเตอร์การกระจาย (S-parameter test set) รุ่น HP-8514B และตัวสังเคราะห์ความถี่ (Frequency synthesized sweeper) รุ่น HP-83620A เป็นอุปกรณ์หลักในการทดลองดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.2 ซึ่งจะถูกรวบรวมผ่านคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer: PC) ที่เชื่อมต่อผ่านช่องสื่อสารแบบ GPIB (General purpose interface bus) โดยอุปกรณ์ชนิดนี้จะมีคุณสมบัติที่สามารถตรวจวัดสัญญาณในโครงข่ายหนึ่งพอร์ตและสองพอร์ต ซึ่งในการทดลองนี้จะทำการตรวจวัดแบบสองพอร์ตโดยพอร์ตที่หนึ่งคือพอร์ตที่ใช้ในการส่งสัญญาณ Tx ส่วนพอร์ตสองจะใช้ในการรับสัญญาณ Rx โดยที่ปลายของพอร์ตทั้งสองจะถูกต่อด้วยสายอากาศแบบกรวยคู่ และทำการวัดในโดเมนความถี่ก่อนที่จะถูกนำผลการวัดไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์



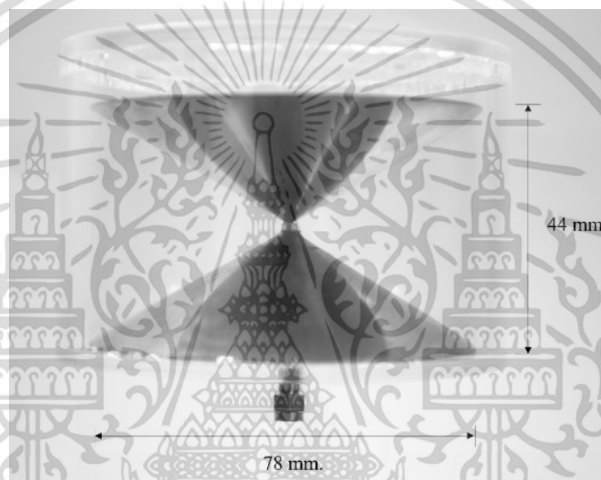
รูปที่ 4.2 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ (Vector Network Analyzer; VNA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

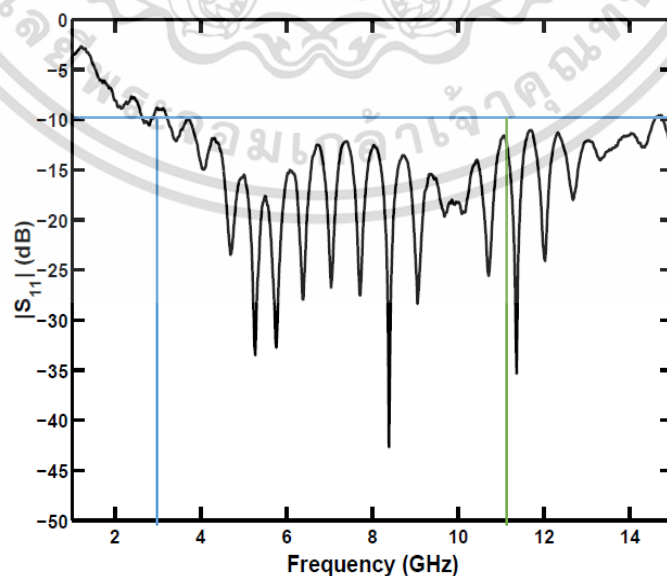
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 สายอากาศแบบกรวยคู่ (Biconical antenna)

โครงสร้างและขนาดของสายอากาศแสดงดังรูปที่ 4.3 ซึ่งสายอากาศแบบกรวยคู่เป็นสายอากาศที่ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัว โดยกรวยด้านบนของสายอากาศใช้ในการแพร่กระจายคลื่นวิทยุส่วนกรวยด้านล่างจะต่อกับสายดิน ซึ่งลักษณะการป้อนสัญญาณจะเป็นการป้อนสัญญาณเข้ายังส่วนกลางของสายอากาศแล้วแพร่กระจายคลื่นออกรอบทิศทาง ในรูปที่ 4.4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (Reflection Coefficient: S_{11}) ของสายอากาศกรวยคู่ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับมีค่าต่ำกว่า -10 dB ที่ครอบคลุมในช่วงความถี่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz และรูปที่ 4.5, 4.6 แสดงถึงอัตราขยายและเฟสของสายอากาศแบบกรวยคู่



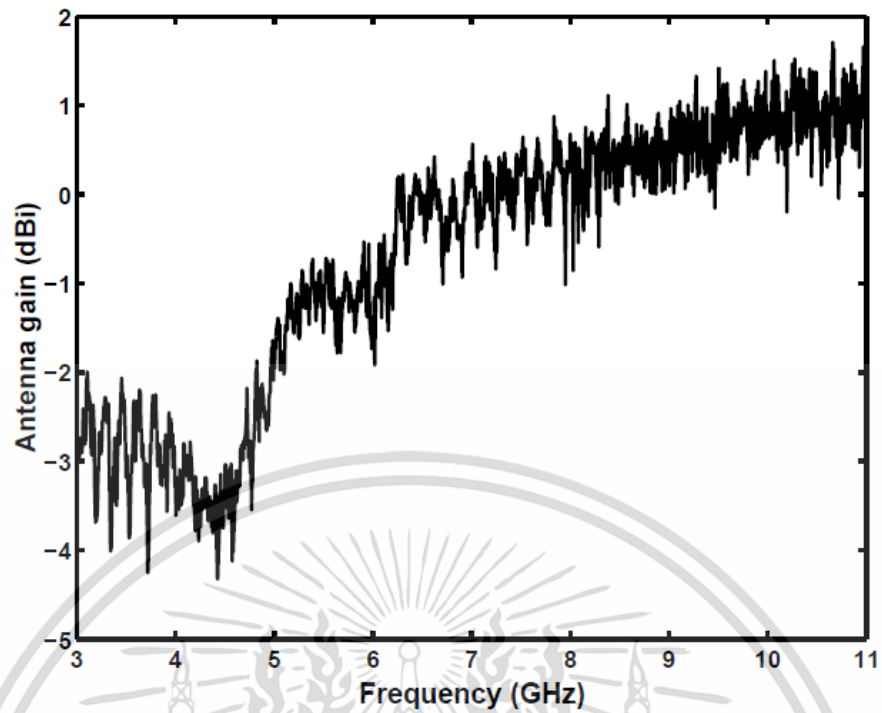
รูปที่ 4.3 โครงสร้างและขนาดของสายอากาศกรวยคู่ที่ได้สร้างขึ้น



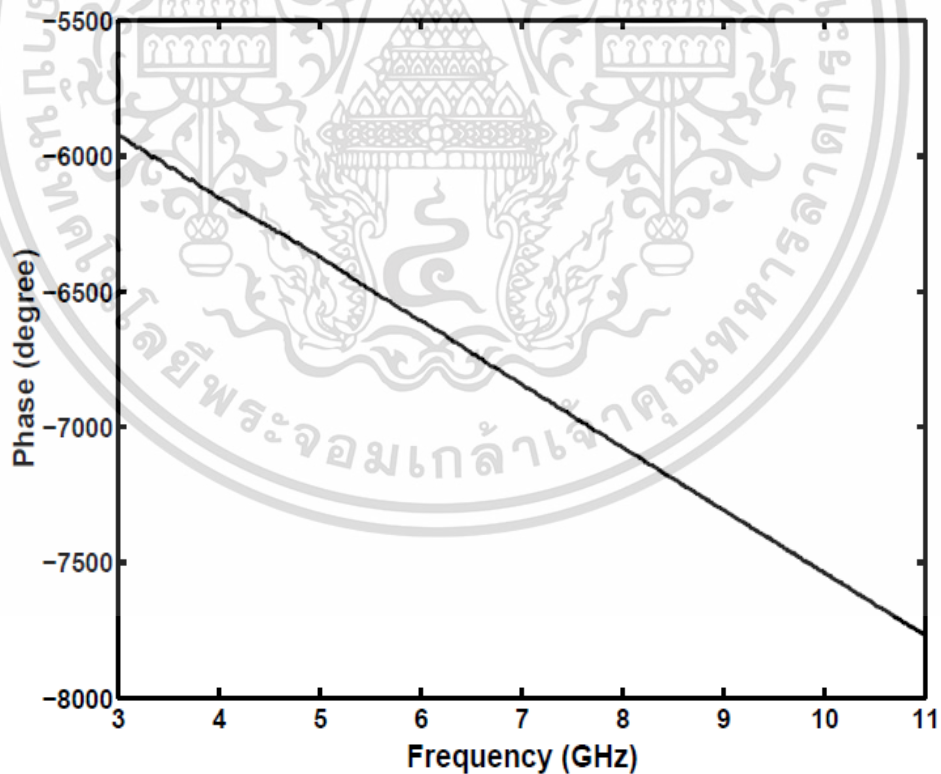
รูปที่ 4.4 สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ $|S_{11}|$ ของสายอากาศแบบกรวยคู่ที่ได้สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ขนาดฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศแบบกรวยคู่



รูปที่ 4.6 เฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศแบบกรวยคู่

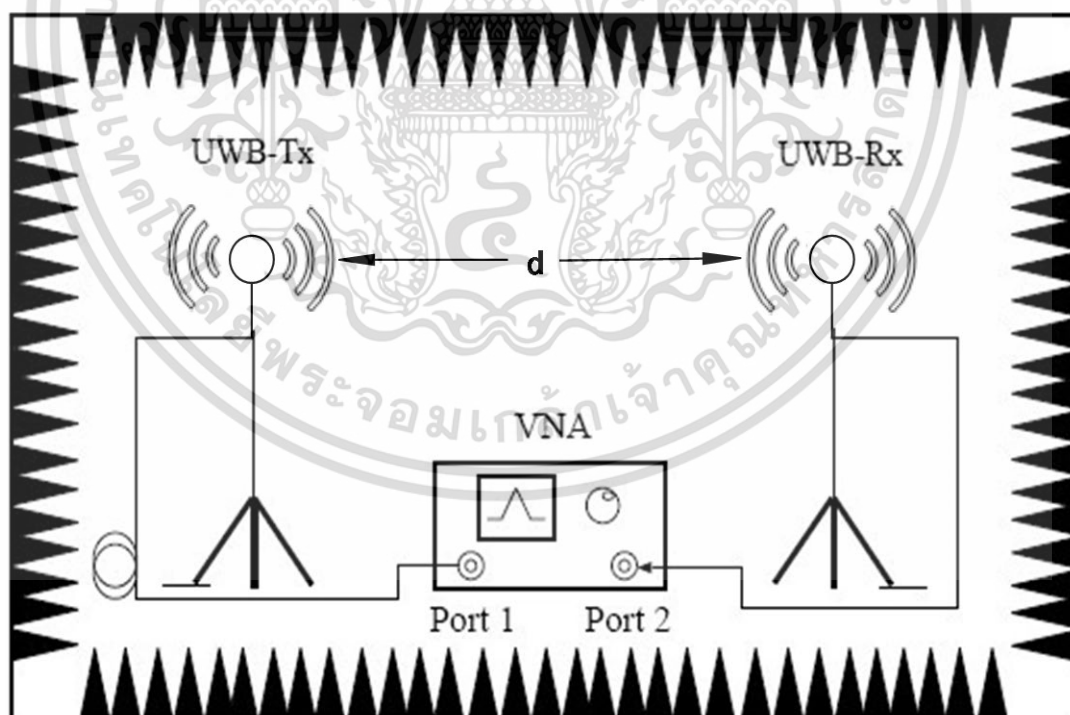
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองได้แสดงให้เห็นในตารางที่ 4.1

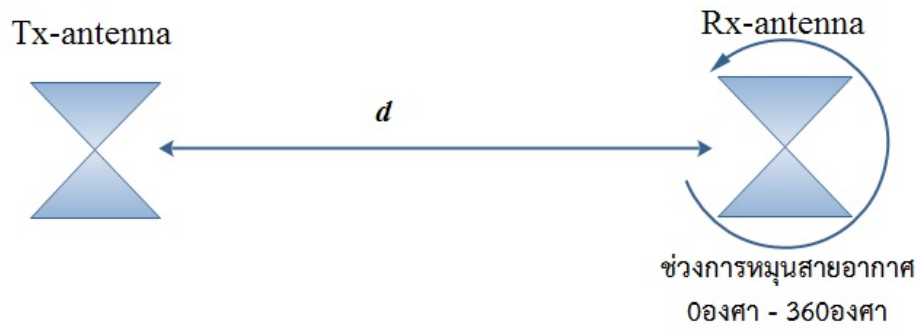
ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์	ค่า
ช่วงความถี่	3.1 – 10.6 GHz และ 7.25 – 8.50 GHz
จำนวนจุดความถี่	1601 จุด
ความสูงของสายอากาศด้านส่ง	1.75 m
ความสูงของสายอากาศด้านรับ	1.75 m
ชนิดของสายอากาศ	สายอากาศกรวยคู่
การวางสายอากาศ	แนวนอน
ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่ง-รับ	4 m
การหมุนสายอากาศ	0 องศา - 360 องศา
การหมุนสายอากาศ/ครั้ง	5 องศา

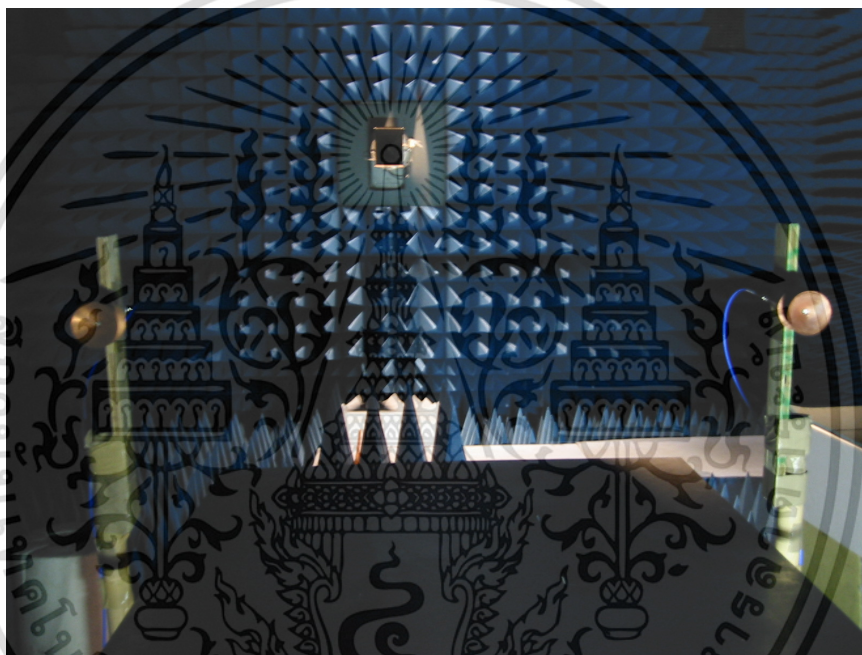


รูปที่ 4.7 การจัดเตรียมการวัดฟังก์ชันการถ่ายโอนในห้องไร้การสะท้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ลักษณะการหมุนสายอากาศด้านรับเมื่อมองจากมุมด้านบน



รูปที่ 4.9 สภาพแวดล้อมของการวัดจริงในห้องไร้การสะท้อน

4.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองวิจัย

รายการอุปกรณ์	จำนวน
เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์	1
สายอากาศกรวยคู่ (Biconical Antennas)	2
ชุดอุปกรณ์ปรับเทียบ (Calibration Kit)	1
อุปกรณ์หมุนสายอากาศ	1
สายเคเบิล	2
คอนเน็คเตอร์	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ขั้นตอนและวิธีการในการทดลอง

1. เริ่มทำการติดตั้งสายอากาศตามแบบจำลองการทดลอง โดยแบบจำลองการทดลองแรกเป็นการใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ในการรับ-ส่ง ติดตั้งสายอากาศทั้งสองที่ความสูงเท่ากันคือที่ 1.75 m และมีระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและรับเท่ากับ 4 เมตร
2. ทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ความถี่ที่ 3.1 – 10.6 GHz และ 7.25 – 8.50 GHz เพื่อให้ครอบคลุมช่วงความถี่ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 และตั้งจำนวนจุดความถี่ที่ 1601 จุด
3. ทำการเปรียบเทียบเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์พอร์ตด้านส่ง ด้วยชุดเปรียบเทียบซึ่งประกอบไปด้วย open circuit, short circuit และ load
4. จากนั้นทำการเปรียบเทียบพอร์ตทางด้านรับ เมื่อเสร็จสิ้น จึงนำสายเคเบิลไปต่อกับสายอากาศแล้วการวัด
5. ทำการวัดโดยหมุนสายอากาศด้านรับไปครั้งละ 5 องศาจนครบ 360 องศา จนเสร็จสิ้น
6. ทำการเปลี่ยนสายอากาศเป็นสายอากาศไดโพลแบบรายคาบล็อกแล้วทำการวัดเหมือนกับข้อที่ 5
7. แล้วนำผลที่ได้ไปประมวลผลในโปรแกรม Matlab[®] และทำการวิเคราะห์

4.6 สรุป

บทนี้ได้กล่าวถึงขั้นตอนการทดลองวิจัย โดยวัดฟังก์ชันการถ่ายโอนในห้องไร้การสะท้อน ด้วยการพิจารณาการเกิดความผิดเพี้ยนอันเนื่องมาจากสายอากาศที่มีผลต่อช่องสัญญาณส่งผ่านแถบกว้างยิ่ง โดยได้ทดลองในห้องไร้การสะท้อนโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ในการทดลองวัด ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอสายอากาศที่ใช้ในการทดสอบแถบกว้างคือสายอากาศแบบกรวยคู่ ในการวัดควรทำการเปรียบเทียบเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ก่อนทำการวัด และทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ตามตารางที่ 4.1 โดยทำการวัดตามกระบวนการในการทดลองตามขั้นตอนที่ 4.5 ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น ซึ่งพารามิเตอร์ที่ได้เป็นฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศในอวกาศว่างแล้วบันทึกผลในคอมพิวเตอร์ จากนั้นนำผลได้จากการวัดไปวิเคราะห์ด้วยการเลียนแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อประเมินผลประสิทธิภาพการส่งผ่านช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่ง.

บทที่ 5

ผลการทดลองวิจัยและการอภิปรายผล

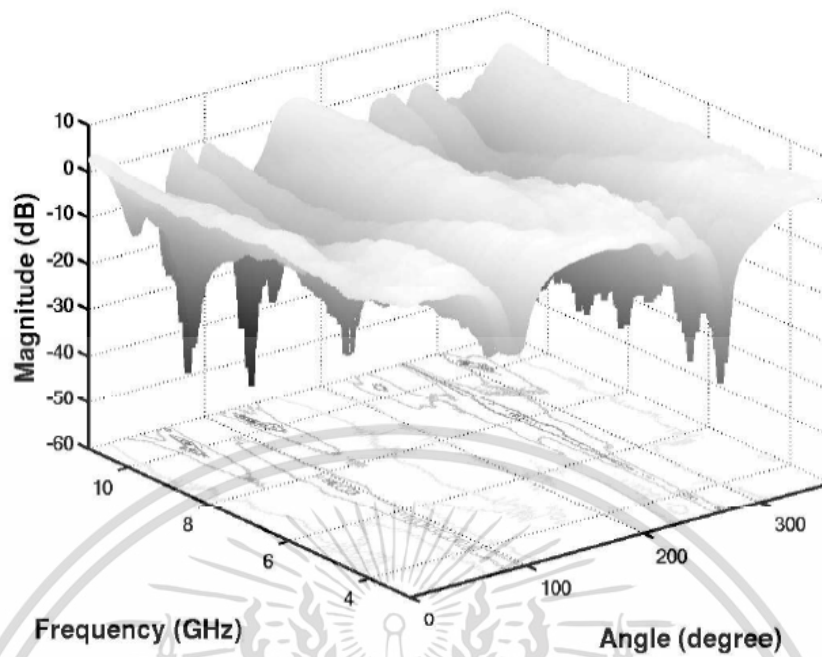
5.1 บทนำ

ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงการวิเคราะห์และการสรุปผลการทดลองวิจัย ซึ่งใช้หลักการวิเคราะห์ช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งโดยใช้สูตรการประยุกต์การส่งผ่านของฟรีส และทางด้านรับได้เสนอเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ด้วยสัญญาณที่รับได้ ซึ่งได้แสดงหลักการวิเคราะห์ไว้ในบทที่ 3 ผลที่ได้จากการวัดหรือการทดสอบจริงของช่องสัญญาณการส่งผ่านในสภาพแวดล้อมจริง รูปแบบของสัญญาณส่ง และรูปแบบการจำลองวัดได้ จากนั้นได้นำเอาผลการวัดมาทำการประเมินผล เพื่อนำพารามิเตอร์มาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลของความแตกต่างตลอดจนสอดคล้องกับแนวทางทฤษฎีหรือไม่ อย่างไรก็ตามตัวอย่างของผลการทดลองวิจัยที่ได้แสดงในบทนี้ เช่น คุณสมบัติของสายอากาศที่ใช้ในการทดสอบ ขนาดและเฟส และอัตราขยายการส่งผ่านของช่องสัญญาณการแถบกว้างยิ่งด้วยกรณีสายอากาศด้านรับและด้านส่งเหมือนกันโดยใช้สายอากาศแบบกรวยคู่

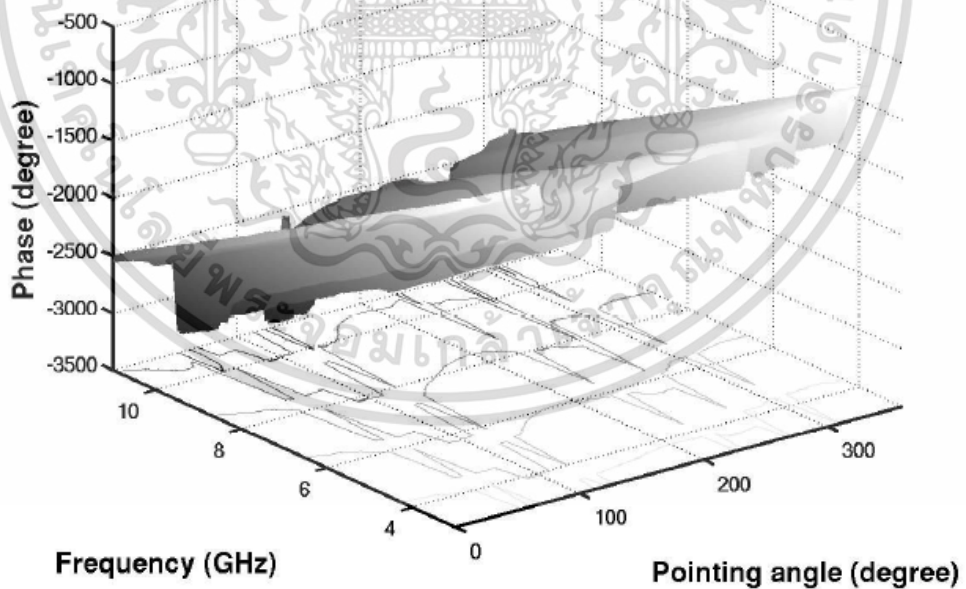
5.2 ผลการทดลองวัดและการวิเคราะห์

5.2.1 อัตราขยายการส่งผ่าน

อัตราขยายการส่งผ่านกรณีใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ในการรับส่งทั้งสายอากาศรับและส่ง ซึ่งจากรูปที่ 5.1 จะเห็นว่าค่าอัตราขยายช่วงมุม 0 องศาและ 30 องศา มีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดช่วงความถี่ โดยมีค่าสูงสุดที่ประมาณ 4 dB และในขณะที่มุม 60 องศา นั้นมีค่าการเปลี่ยนแปลงของอัตราขยายที่ลดลงค่อนข้างมากซึ่งช่วงความถี่สูงเป็นช่วงที่มีค่าการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด ในขณะรูปที่ 5.4 แสดงอัตราขยายการส่งผ่านสำหรับการเชื่อมโยงกรณีใช้สายอากาศแบบกรวยคู่กับสายอากาศไดโพลรายคาบล็อกซึ่งจะเห็นว่าที่มุม 0 องศา นั้น อัตราขยายการส่งผ่านมีค่าที่สูงกว่ากรณีใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ทั้งรับและส่ง แต่เมื่อทำการหมุนสายสายอากาศไปที่มุม 30 องศาและ 60 องศา นั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงมีค่าการเปลี่ยนแปลงที่มากกว่าและมีค่าที่ลดต่ำลงอย่างเห็นได้ชัดจนมีค่าต่ำกว่าสายอากาศแบบกรวยคู่ ซึ่งสาเหตุน่าจะเกิดจากขนาดและรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลรายคาบล็อกที่มีขนาดเล็กกว่าสายอากาศแบบกรวยคู่



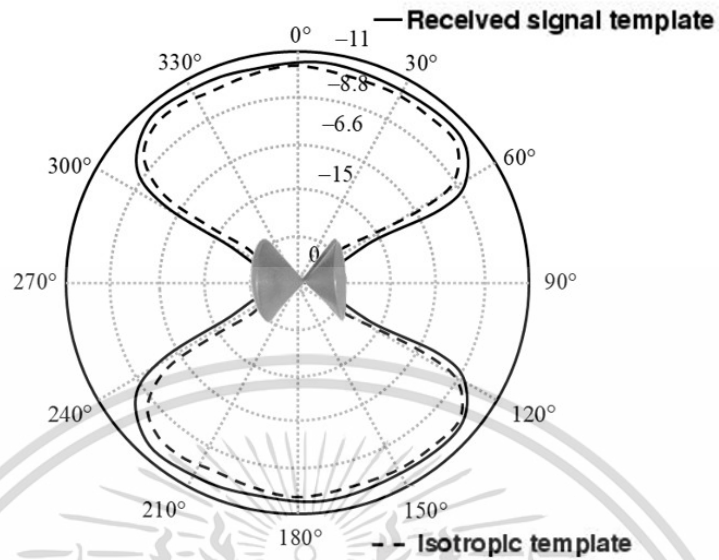
รูปที่ 5.1 ขนาดของการถ่ายโอนของการเชื่อมโยงกรณีใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ - สายอากาศกรวยคู่



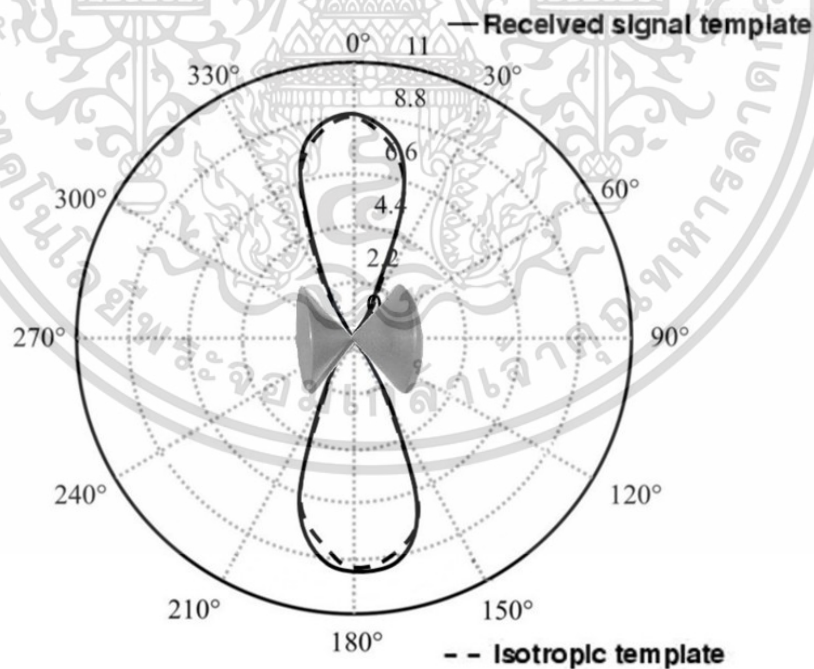
รูปที่ 5.2 เฟสของการถ่ายโอนของการเชื่อมโยงกรณีใช้สายอากาศกรวยคู่-สายอากาศกรวยคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 อัตราขยายการส่งผ่านตามมาตรฐาน FCC และแถบความถี่ร่วม



รูปที่ 5.3 อัตราขยายการส่งผ่านตามแถบความถี่มาตรฐาน (3.1GHz - 10.6 GHz) สำหรับการเชื่อมโยงของสายอากาศกรวยคู่- สายอากาศกรวยคู่



รูปที่ 5.4 อัตราขยายการส่งผ่านของมาตรฐานแถบความถี่ร่วม (7.25 - 8.5 GHz) สำหรับการเชื่อมโยงด้วยสายอากาศกรวยคู่ - สายอากาศกรวยคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราขยายการส่งผ่านตามมาตรฐานของ FCC และแถบความถี่ร่วมในรูปที่ 5.3 และรูปที่ 5.4 ได้แสดงอัตราขยายการส่งผ่านซึ่งกำหนดให้เป็นไปตามมาตรฐาน FCC ของแถบความถี่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz (มีแบนด์วิดท์ 7.5 GHz) และแถบความถี่ร่วม 7.25 GHz ถึง 8.5 GHz (มีแบนด์วิดท์ 1.25GHz) ที่ใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ทั้งสายอากาศรับและสายอากาศส่ง ในกรณีสายอากาศแถบความถี่ตามมาตรฐาน FCC นั้นจะมีความแตกต่างที่ค่อนข้างเมื่อเทียบกับกรณีไอโซทรอปิกนั้นแสดงให้เห็นว่าการใช้แถบความถี่ตาม FCC นั้นมีเกิดความถี่ขึ้นมาก แต่เมื่อทำการเปลี่ยนมาใช้แถบความถี่ร่วมดังรูปที่ 5.6 นั้น มีค่าความแตกต่างระหว่างกับไอโซทรอปิกน้อยมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแถบความถี่ร่วมนั้นมีความผิดเพี้ยนที่น้อยการใช้แถบความถี่แบบ FCC.

5.3 สรุป

การวิเคราะห์และการประเมินผลการทดลองวิจัยที่ได้นำเสนอโดยพิจารณาจากความผิดเพี้ยนที่เกิดจากสายอากาศในย่านความถี่แถบกว้างยิ่ง ซึ่งจะเห็นว่ามีค่าความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาถึงคุณสมบัติในการส่งผ่านสัญญาณรูปคลื่น และประสิทธิภาพของสายอากาศ ตลอดจนการนำไปประยุกต์ใช้งานของสายอากาศกรวยคู่ เป็นไปตามข้อกำหนดรูปแบบแถบความถี่ในการทดสอบของแถบความถี่คือแถบความถี่ตามมาตรฐานของ FCC ช่วงมีช่วงการทำงานอยู่ที่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz และช่วงแถบความถี่ร่วมที่ 7.25 GHz ถึง 8.5 GHz อัตราขยายสายอากาศแบบกรวยคู่ แถบความถี่ร่วมให้ผลที่ดีกว่า ซึ่งค่าความแตกต่างระหว่างสายอากาศไอโซทรอปิกนั้นน้อยกว่า แสดงให้เห็นถึงความถี่ขึ้นที่มีค่าน้อยกว่าความถี่ขึ้นสายอากาศแบบกรวยคู่จะให้ผลเป็นไปตามโครงสร้างสายอากาศและเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่

บทที่ 6

สรุปการศึกษาทดลองวิจัย

6.1 บทนำ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ นำแบบแผนการประเมินผลความผิดเพี้ยนช่องสัญญาณการส่งผ่านแถบกว้างยิ่งที่อันเนื่องมาจากโครงสร้างของสายอากาศ และช่องสัญญาณการส่งผ่านรูปคลื่นดั่งนั้น สายอากาศที่นำมาใช้กับเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง จำเป็นต้องศึกษาถึงคุณลักษณะของสายอากาศให้เหมาะสมก่อนนำไปใช้งานสำหรับแถบความถี่กว้างยิ่ง โดยสายอากาศที่ใช้เป็นสายอากาศที่ครอบคลุมแถบความถี่ของ FCC คือ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz และแถบความถี่ร่วมคือ 7.25 GHz -8.5 GHz เพื่อพิจารณาถึงความเพี้ยนอัตราขยายของสายอากาศที่แถบความถี่ต่างมาตรฐานกัน และได้ประเมินผลด้วยการต่อยอดสูตรของฟรีสท็อกที่นำเสนอเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ด้วย.

6.2 ผลการทดลองความเพี้ยนช่องสัญญาณการส่งผ่าน

ผลการประเมินจากการทดลองวิจัยที่ได้แสดงในบทที่ 5 เห็นได้ว่าผลการทดลองที่ได้ทำวัด และทดสอบนั้นเราสามารถสรุปโดยรวมดังนี้

จากผลที่ได้อัตราขยายการส่งผ่านสัญญาณแถบกว้างยิ่ง ที่ใช้ทั้งรูปคลื่นต้นแบบสัญญาณที่รับได้และรูปคลื่นต้นแบบไอโซทรอปิกได้ให้การวัดเชิงปริมาณของการเชื่อมโยง เนื่องการได้ทำการเลือกสายอากาศแถบกว้างแนวโน้มของอัตราขยายแถบแคบในช่วงความถี่ทั้งหมดจึงรวมเข้าไปในอัตราขยายการส่งผ่านสัญญาณแถบกว้างยิ่ง ส่วนเรื่องของความเพี้ยนที่เกิดจากสายอากาศจะเห็นได้ชัดว่าถึงแม้สายอากาศกรวยคู่อัตราขยายการส่งผ่านที่ต่ำ แต่ความเพี้ยนที่เกิดจากสายอากาศกรวยคู่อีกยังคงต่ำ และเนื่องจากแบนด์วิดท์สเปกตรัมที่กว้างกว่าทำให้ความเพี้ยนของรูปคลื่นและผลต่างของอัตราขยายการส่งผ่านที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คของ FCC มีค่ามากกว่าที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คของแถบความถี่ร่วม.

ความเพี้ยนของอัตราขยายในการส่งผ่านที่เกิดกับสายอากาศแบบกรวยคู่อะหว่างที่ใช้แถบความถี่ร่วม 7.25 GHz – 8.5 GHz ได้ค่าเฉลี่ยที่ 0.68 dB และความเพี้ยนกรณีแถบความถี่กว้างยิ่งตั้งแต่ 3.1 GHz – 10.6 GHz ตามมาตรฐาน FCC ได้ค่าเฉลี่ยที่ 1.38 dB ได้แสดงผลไว้ในบทที่ 5 แล้วดั่งนั้นในกรณีแถบความถี่ร่วมสายอากาศกรวยคู่อุให้ผลการทดสอบที่ดีกว่า แต่เมื่อใช้กับแถบความถี่ของ FCC สายอากาศไดโพลรายคาบสี่อ้อมมีคุณสมบัติที่ดีกว่าโดยมีค่าความเพี้ยนเชิงเฟสที่น้อยกว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบกัน ซึ่งจากงานวิจัยนี้เป็นแบบแผนที่สามารถนำไปใช้ในการประเมิน

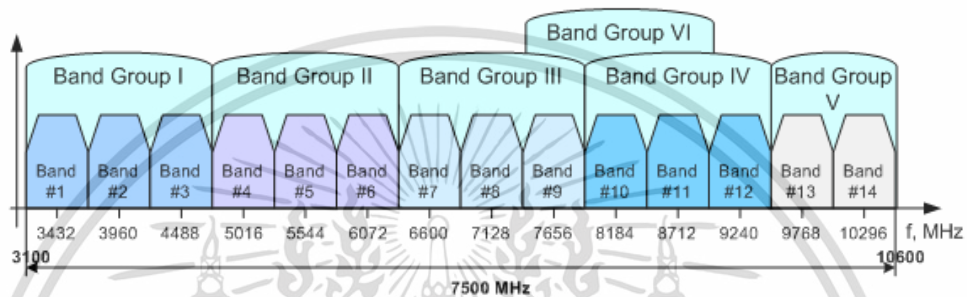
สายอากาศแถบกว้างอื่นๆ เพื่อดูถึงประสิทธิภาพในการส่งผ่านได้.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

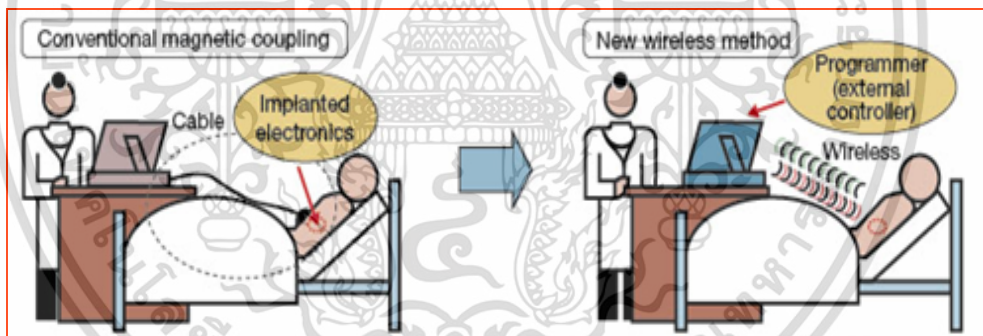
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการวิจัยพัฒนา

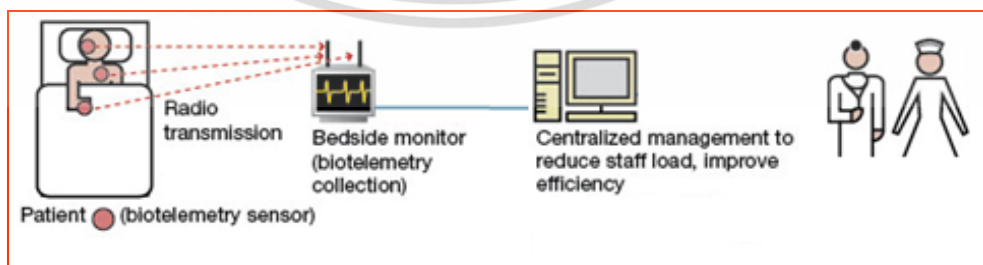
ในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาสายอากาศที่ใช้อยู่เพียงสองชนิด ยังมีสายอากาศอีกหลายชนิดที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานกับเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง ซึ่งเราควรพิจารณาเพื่อดูความเหมาะสมในการใช้งาน และปัจจุบันแถบความถี่ของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งยังได้ถูกกำหนดตามมาตรฐานใหม่เป็นมัลติแบนด์ โอเอฟดีเอ็ม (Multiband-Orthogonal Frequency Division Multiplexing: MB-OFDM) ซึ่งมีช่วงความถี่หลายแถบความถี่ ซึ่งต้องทำการทดสอบเพื่อความเหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้งาน



รูปที่ 6.1 แถบความถี่มาตรฐานของ MB-UWB ที่ใช้สำหรับเทคโนโลยีอื่น ๆ [3,4]



รูปที่ 6.2 การควบคุมด้วยระบบการสื่อสารไร้สายทางการแพทย์แบบแถบกว้างยิ่ง [3-4]



รูปที่ 6.3 การดูแลความปลอดภัยหรือการเฝ้าระวังที่บ้านพักอาศัยสื่อสารไร้สายแถบกว้างยิ่ง [3-4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Pagani, F. Talom, P. Pajusco, B. Uguen, Ultra WideBand Radio Propagation Channels, John Wiley & Sons, 2008.
- [2] C. Heidari, “WiMedia UWB Technology of Choice for Wireless USB and Bluetooth,” John Wiley & Sons, 2008.
- [3] K. Siwiak, “Ultra-wideband radio: A new pan and positioning technology,” IEEE Vehicular Technology Society News, February 2002, pp. 4–9.
- [4] K. Siwiak, P. Withington and S. Phelan, “Ultra-wideband radio: The emergency of an important new technology,” IEEE Vehicular Technology Conference, VTC-Spring, vol. 2, no. 53, pp. 1169–1172, 2001.
- [5] K. Siwiak, “Ultra-wideband radio: Introducing a new technology,” IEEE Vehicular Technology Conference, VTC-Spring, vol. 2, no. 53, 2001, pp. 1088–1093.
- [6] FCC, “Revision of Part 15 the Commission’s Rules Regarding Ultra-wideband Transmission Systems,” ET Docket, 2002.
- [7] J. H. Reed et. al. An Introduction to Ultra Wideband Communication Systems, Prentice Hall, 2005
- [8] S. Hongson et al., “On the spectral and power requirements for UWB transmission,” ICC 2003, vol. 1, May 2003, pp. 738–742.
- [9] I. Oppermann, M. Hamalainen and J. Linatti, UWB Theory and Applications, John Wiley & Sons, 2004.
- [10] ETSI, “Harmonised Standards Covering Ultrawide Band (UWB) Applications,” Standardisation Mandate: DG ENTR/G/3M/329, Brussels, Feb. 2003.
- [11] ETSI, “ECC Decision of 24 March 2006 on The Harmonised Conditions for Devices Using Ultra-Wideband (UWB) Technology in Bands below 10.6 GHz,” Doc. ECC/DEC/(06)04, Mar. 2006.
- [12] MIC, “Japan’s UWB emission policy advances,” EE Times, Washington, 26 Aug. 2005.
- [13] W. Hirt and M. Weisenhorn, “Overview and implications of the emerging global UWB radio regulatory frameworks,” 2006 IEEE International Conference on Ultra-Wideband, pp. 581-586, Sept. 2006.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [14] J. Farserotu, A. Hutter, F. Platbrood, J. Gerrits and A. Pollini, "UWB Transmission and MIMO Antenna Systems for Nomadic User and Mobile PAN," *Wireless Personal Communications*, no. 22, pp. 197-317, 2002.
- [15] L. D. Nardis and M. D. Benedetto, "Overview of the IEEE 802.15.4/4a standards for low data rate wireless personal data networks," 4th Workshop on Positioning, Navigation and Communication (WPNC), pp. 285-289, 2007.
- [16] K. S. Kwak, S. Ullah and N. Ullah, "An overview of IEEE 802.15.6 standard," 2010 3rd International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies (ISABEL), pp. 1-6, 2010.
- [17] Y. Park and F. Adachi, *Enhanced Radio Access Technologies for Next Generation Mobile Communication*, Springer, 2007.
- [18] H.T. Friis, "A note on a simple transmission formula," *Proc. IRE*, vol. 34, no. 5, pp. 254-256, May 1946.
- [19] United States of America, "Path loss calculations for ultra-wideband signals in indoor environments," ITU-R Document 3K/30-E, pp. 1-14, Nov. 2003.
- [20] S. Promwong and J. Takada, "Free space link budget estimation scheme for ultra wideband impulse radio with imperfect antennas," *IEICE Electronics Express*, vol. 1, no. 7, pp. 188-192, July 2004.
- [21] H. G. Schantz, "Dispersion and UWB antennas," *Proc. 2004 Int. Workshop Ultra Wideband Syst./Conf. Ultra Wideband Syst. Tech. (joint UWBST & IWUWBS 2004)*, Kyoto, Japan, May 2004.

ภาคผนวก ก.
บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในระหว่างการศึกษาในระดับ
ปริญญาโท

บทความที่ได้นำเสนอในการประชุมวิชาการนานาชาติ

- [1] I. Ruethorn and S. Promwong, "Wideband Antenna Performance Evaluation for Ultra Wideband Communication System," 2018 15th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), pp. 802-805, 2018.





2018 ECTI-CON

18-21 JULY 2018,
CHIANG RAI, THAILAND

15th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICAL
ENGINEERING/ELECTRONICS, COMPUTER,
TELECOMMUNICATIONS AND INFORMATION TECHNOLOGY

RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY LANNA
CONFERENCE VENUE : WIANG INN HOTEL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wideband Antenna Performance Evaluation for Ultra Wideband Communication System

Issaree Ruethorn, and Sathaporn Promwong
Department of Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Bangkok 10520, Thailand
sherry.npo@gmail.com and sathaporn.pr@kmitl.ac.th

Abstract—The transmission loss in modern wireless communication systems is usually evaluate by Friis' formula. However, ultra wideband communication systems cannot apply its directly because the transmission waveform for the ultra wideband is difference from the other wireless communication systems. In this paper, the performance of the ultra wideband antenna with the measurement data of the transmission waveform based on Friis' formula and correlation receiver are presented. This scheme used to evaluate formula for the transmission waveform of the ultra wideband communication system. The distortion will be consider the receiver waveform and antenna should be known. Since the ultra wideband transmission waveform are pulse-shaping by the antenna, difference parameter of the antenna is investigated, especially the effect of the antenna performance and waveform template.

Keywords—wideband antenna, UWB antenna, UWB, antenna, WUWB

I. INTRODUCTION

Ultra wideband (UWB) is interested technology in modern short-range wireless communication systems, the occupied bandwidth of UWB based on FCC is 3.1 – 10.6 GHz [1]. Any selected frequency in this bandwidth can cause the distortion in transmit pulse shape waveform. Thus, the complexity of the receiver detection mechanism will increase by the antenna which act as the significant pulse-shaping filter. In addition, the common wireless applications are still required the efficient antenna structure with small geometrically and low cost. For this reason, the design of antenna for propagate the UWB transmit waveform is a major challenge.

Formula of Friis is very widely used in the wireless propagation loss with line-of-sight scenario to evaluate the link budget [2]. Although, in UWB communication with impulse radio system, the Friis' formula cannot be directly applying because the bandwidth of impulse radio is extremely wide. Furthermore, the quantitative evaluation of the link budget due to the effect of waveform distortion should be observed.

The constant gain and constant aperture antenna had been presented. However, there is no discussion of the general constant in [2]. To investigate the transmission property in free space, the wideband antenna and receiver template waveform had considered in [3].

In this research paper, the evaluation scheme of transmission loss in free space for UWB had been discussion. The purposed evaluated the wideband antenna with Friis' formula to impulse radio systems. The UWB communication and the receiver template waveform for the adaptive of the

Friis' formula had been derive. Different kind of antenna had used in the experiment.

II. WIRELESS UWB COMMUNICATION SYSTEM

A. Impulse Radio Model

The frequency transfer function model in free space with antenna by the adaptive of Friis' formula is given as

$$H_c(f, d) = H_t(f, d)H_r(f, \Omega_r) \cdot H_t(f, \Omega_t) \quad (1)$$

where H_a ($a = r$ or t) is an antenna relative complex transfer function vector to the isotropic antenna towards the $\Omega_a = (\theta_a, \varphi_a)$ direction, given as

$$\begin{aligned} H_a(f, \Omega_a) &= H_a(f, \theta_a, \varphi_a) \\ &= \hat{\theta}_a H_{a\theta}(f, \theta_a, \varphi_a) + \hat{\varphi}_a H_{a\varphi}(f, \theta_a, \varphi_a), \end{aligned} \quad (2)$$

where $a = r$ or t ,

$$H_t(f, d) = \frac{\lambda}{4\pi d} \exp(-jkd) \quad (3)$$

is the channel transfer function in free space, where

$$k = 2\pi/\lambda \quad (4)$$

is the propagation constant. Unit vectors $\hat{\theta}_a, \hat{\varphi}_a$ defined the polarization coordinates of the antennas and can be derived as.

$$\hat{\theta}_t = \hat{\theta}_r, \quad (5)$$

$$\hat{\varphi}_r = -\hat{\varphi}_t. \quad (6)$$

when $V_r(f)$ is a receiver input spectrum which given by

$$V_t(f) = H_c(f, d)V_r(f), \quad (7)$$

where the transmit waveform spectrum is $V_t(f)$.

B. Receive Waveform Template

We can consider a correlation receiver and SNR which depend on the waveform template at the output. $v_o(\tau)$ is the correlator output which can be given as

$$v_o(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v_i(t) h_w(t-\tau) dt, \quad (8)$$

where the inverse Fourier transform of Eq. (7) will result as the receiver input waveform $v_i(t)$ and $h_w(t)$ is the waveform template. τ is the timing of the waveform template, and τ_o is the optimum timing which given as

$$\tau_o = \arg \max_{\tau} v_o(\tau), \quad (9)$$

hence $h_w(t)$ can be derive as

$$\int_{-\infty}^{\infty} |h_w(t)|^2 dt = 2B, \quad (10)$$

when B is the signal bandwidth, so that the noise power density is $\frac{N_0}{2}$ is the noise power of AWGN.

Under the constraint of Eq. (10), $h_{wn}(t)$ maximizes $v_o(\tau_o)$ when $h_{wn}(t)$ is a time-reversed and scaled version of $v_t(t)$ i.e.

$$h_{wn}(t) = \frac{\sqrt{2B} v_t(\tau_o - t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |v_t(t)|^2 dt}}, \quad (11)$$

for $h_{wn}(t) = 0$ for $t < 0$ to satisfy the causality. Hereafter, the optimum template waveform is $h_{wn}(t)$. To be noted that the evaluation of transmission gain is reported in [4] while the receiver template is $h_{wn}(t)$.

C. Receive Waveform Isotropic Template

In the previous topic, the optimum template waveform is not the only transmitter waveform in time-reversed, but including the channel characteristics which is the antennas and the propagation in free space. Consequently, it is not always practical to modify the template waveform to antenna characteristics. Therefore, we consider a canonical template waveform $h_{wc}(t)$. In this paper, the $h_{wc}(t)$ had been chosen as the optimum for the isotropic and the constant gain antenna, i.e.

$$h_{wc}(t) = \frac{\sqrt{2B} v_{r-iso}(\tau_o - t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |v_{r-iso}(t)|^2 dt}}, \quad (12)$$

where

$$v_{r-iso}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} H_f(f) v_t(f) \exp(j2\pi ft) df \quad (13)$$

is the receiver input voltage in isotropic antennas for both sides. The difference between the optimum and the isotropic templates show quantitatively of waveform distortion.

III. UWB TRANSMISSION WAVEFORM MEASUREMENT

A. Transmit Waveforms of UWB System

The waveform distortion is clearly increasing with the wider bandwidth. The common frequency band of UWB is available in the intersect between FCC and CEPT/ECC, which is 7.25 - 8.5 GHz [7]. The rectangular passband waveform and root raised cosine passband waveforms are consider used as the transmitted waveforms in this paper.

1) Rectangular Passband Waveform is the waveform with rectangular spectrum and its spectral density is given as

$$V_{r-iso}(f) = \begin{cases} 1 & |f - f_c| \leq \frac{f_b}{2} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (14)$$

where f_c is the center frequency and f_b is the spectral bandwidth. For satisfying the FCC spectral masks for indoor and outdoor limits, f_c and f_b are set to 6.85 and 7.50 GHz, respectively. For satisfying the common frequency band spectral mask, f_c and f_b are set to 7.875 and 1.250 GHz, respectively.

2) Root Raised Cosine Passband Waveform is the waveform with root raised cosine spectrum and its spectral density is given as

$$V_{r-iso}(f) = \begin{cases} 1 & |f - f_c| \leq \frac{(1-\beta)}{2T} \\ A \frac{(1-\beta)}{2T} & \frac{(1-\beta)}{2T} < |f - f_c| \leq \frac{(1+\beta)}{2T} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (15)$$

where

$$A = \sqrt{\frac{1}{2} \left[1 + \cos \left(\frac{\pi T}{\beta} \left[|f - f_c| - \frac{1-\beta}{2T} \right] \right) \right]}, \quad (16)$$

$T = 1/f_b$ is the reciprocal of the symbol-rate and $\beta = 0.3$ is roll-off. In the FCC spectral masks, f_c is 6.85 GHz. The spectral bandwidth f_b is 6.37 GHz and 5.94 GHz, for propagation, respectively. In the common frequency band spectral mask, f_c and f_b are set to 7.8757 and 0.975 GHz, respectively. The spectral densities are normalized of the FCC with waveform in band spectral mask at common band shown in Fig. 1 and Fig. 2.

B. The System of experiment

The transmission waveform S_{21} based on measured with the vector analyzer (VNA) in an anechoic chamber room. The

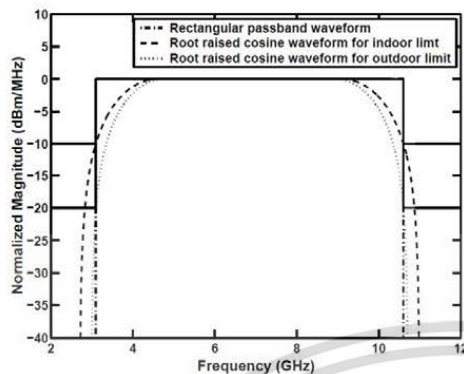


Fig. 1. Comparison of the power spectral by normalized and the FCC spectral mask.

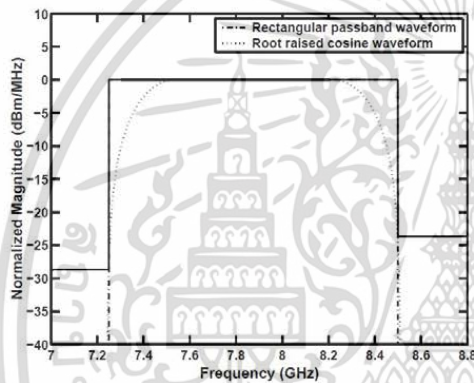


Fig. 2. Comparison of the power spectral by normalized and the spectral mask common band.

VNA operate in the response measurement mode, where Port-1 was the transmitter antenna (Tx) and Port-2 is receiver antenna (Rx). The Tx and Rx antenna are height at 1.75 m. and the distance between Tx and Rx antenna is 4 m.

The biconical antenna had been chosen due to its low distortion property and the geometry of the antenna is shown in Fig. 3. The maximum diameter is 65.3 mm. and length is 37 mm.

IV. EXPERIMENTAL RESULTS

A. The Biconical Antenna (BA)

BA were used both at Tx and Rx sides. Figure 6 shows the normalized UWB transmission gain as a function of antenna pointing angle in the E-plane. 8-shaped patterns were collected. Two template waveforms were used for comparison, and the difference was rather small. The phase center of the biconical antenna has theoretically the frequency independent at broadside direction, and that is why the waveform distortion effect is small compared with the isotropic template waveform.

B. The Log-Periodic Dipole Antenna (LPDA)

The LPDA is with broadband. It also has an independent antenna gain. Different from biconical antennas, however, the characteristic of LPDA is rather big, the phase center changes with frequency due to the resonance of the elements of dipole [8].

The LPDA is commercial antenna, Watkins-Johnson's AR7-15A, shown in Fig. 6. The antenna operate in the range of 1 to 12.4 GHz. Figure 8 shows the Comparison pattern of common band spectral mask between received and isotropic template. As is known, an LPDA is uni-directional and the gain is higher than the biconical antenna. For the degradation of the relative gain can be observed with the canonical isotropic template is used, since the waveform dispersion is obvious [8].

In the transmission gain of UWB transmission, the received signal waveform and isotropic template waveforms had been used, its provide the quantitative measured of the transmission gain. In the chosen broadband antennas, the trend of the narrowband gain is reflected in the UWB transmission gain. Another issue is the waveform distortion. The difference between the optimum and the isotropic templates is a measure of the waveform distortion. It is obvious that the use of LPDA caused the biggest distortion among the wideband antenna, as its dispersion characteristic is significantly large.

V. CONCLUSION

In this report, we presented the antenna system for wireless UWB communication system, where the input signal, antennas, path loss, and with coherent at receiver side. Two types of broadband antennas have been evaluated. The formula presented in the preceding of [4] is a special case for the optimum template waveform in this paper. Therefore, as is also presented in [4], IEEE 802.15.3a path loss model [5] is also a special case of the presented formula in this report, by considering a ASK pulse, the frequency independent antennas, and the signal waveform.

REFERENCES

- [1] "Radio Frequency Devices," Part 15, Federal Communications Commission Rules, Dec. 2003.
- [2] H.T. Friis, "A note on a simple Proc. IRE, vol. 34, no. 5, pp. 254-256, May 1946.
- [3] K. Siwiak and D. McKeown, Ultra wideband radio technology, Hoboken, John Wiley & Sons, pp.55-158,2004.
- [4] S. Promwong, and J. Takada, "Free space link budget estimation scheme for ultra wideband impulse radio with imperfect antennas," IEICE Electronics Express, vol. 1, no. 7, pp. 188-192, July 2004..
- [5] I. Oppermann, M. Hamalainen, and J. Linatti, UWB Theory and Applications, Hoboken, John Wiley & Sons, pp.1-209,2004.
- [6] J.D. Taylor, Introduction to ultra-wideband radar systems, Florida, CRC press, pp.1-656, 1999..
- [7] M. Young, The Technical Writer's Handbook. Mill Valley, CA: University Science, 1989.
- [8] J. Foerster, "Channel modeling sub-committee report final," IEEE P802.15-02/368r5-SG3a, Nov. 2002.

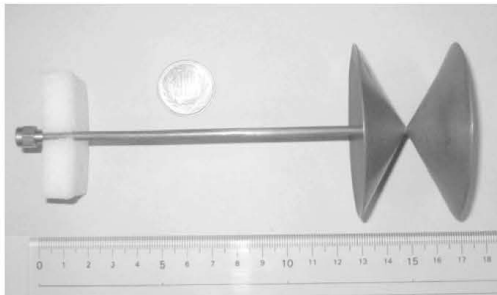


Fig. 3. Biconical antenna structure.

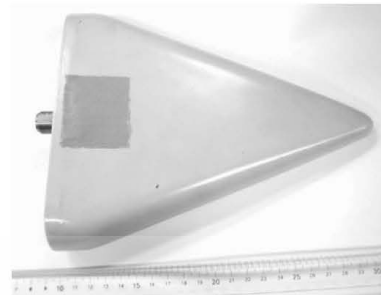


Fig. 6. Log-periodic dipole antenna (Watkins-Johnson AR7-15A).

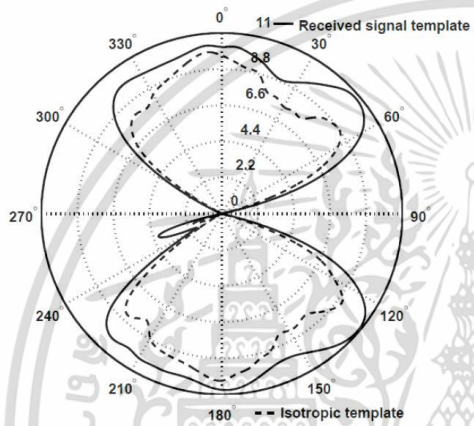


Fig. 4. Comparison pattern of Full band FCC spectral with biconical-biconical link.

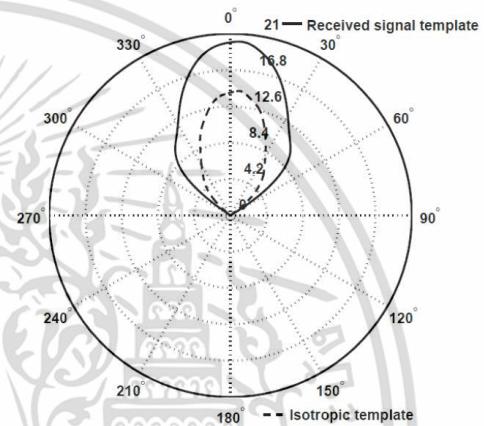


Fig. 7. Comparison pattern of Full band FCC spectral with LPDA-LPDA link.

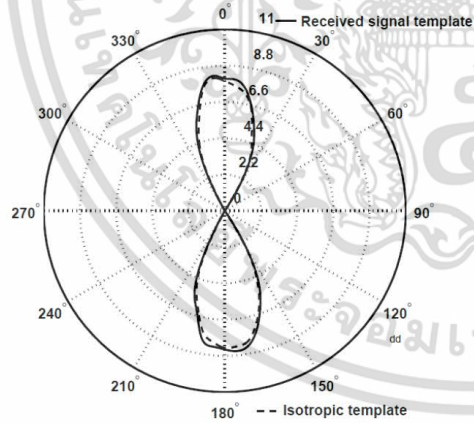


Fig. 5. Comparison pattern of common band spectral mask between received and isotropic template with biconical-biconical link.

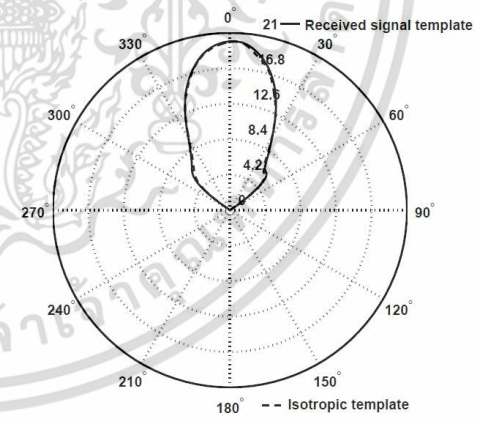


Fig. 8. Comparison pattern of common band spectral mask between received and isotropic template with LPDA-LPDA link.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาวอิสริย์ ฤทร
 ที่อยู่ 200/114 โกลเด้นวิลเลจอ่อนนุช-พัฒนาการ แขวงประเวศ เขตประเวศ
 กรุงเทพมหานคร 10250 ประเทศไทย
 ประวัติการศึกษา 2560 - ปัจจุบัน วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ความชำนาญเฉพาะด้าน 1.) สายอากาศแถบกว้าง
 2.) เทคโนโลยีการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้