

แบบแผนการประเมินสมรรถนะของสายอากาศแถบความถี่กว้าง
สำหรับระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง

PERFORMANCE EVALUATION SCHEME OF WIDEBAND ANTENNA
FOR UWB COMMUNICATION SYSTEM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

KMITL-2016-EN-M-010-191

แบบแผนการประเมินสมรรถนะของสายอากาศแถบความถี่กว้าง
สำหรับระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง

PERFORMANCE EVALUATION SCHEME OF WIDEBAND ANTENNA
FOR UWB COMMUNICATION SYSTEM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2559
KMITL-2016-EN-M-010-191

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PERFORMANCE EVALUATION SCHEME OF WIDEBAND ANTENNA
FOR UWB COMMUNICATION SYSTEM



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2016

KMITL-2016-EN-M-010-191

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2016

FACULTY OF ENGINEERING

KING MON GKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ แบบแผนการประเมินสมรรถนะของสายอากาศแถบความถี่กว้าง
สำหรับระบบสื่อสารแถบกว้างยิ่ง

Thesis Title Performance Evaluation Scheme of Wideband Antenna for UWB
Communication System

นักศึกษา นายปกรัฐ เปรมสมบัติ

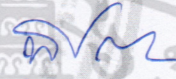

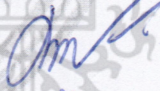


รหัสประจำตัว 55611934

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.สถาพร พรหมวงศ์

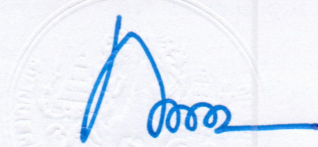
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2016-EN-M-010-191

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.พิชญ	สุพรรณกุล	
ผศ.ดร.สุทธิชัย	นพนาศิพงษ์	
ศ.ดร.ประยุทธ์	อัครเอกตลลิน	
รศ.ดร.สุวิพล	สิทธิชีวกาศ	
ดร.สถาพร	พรหมวงศ์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันศุกร์ที่ 7 ตุลาคม พ.ศ. 2559 เวลา 11.00-13.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 4

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงผู้เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
วันที่ 7 ตุลาคม พ.ศ. 2559

หัวข้อวิทยานิพนธ์	แบบแผนการประเมินสมรรถนะของสายอากาศแถบความถี่กว้างสำหรับระบบสื่อสารแถบกว้างยิ่ง
นักศึกษา	นายปกรัฐ เปรมสมบัติ
รหัสนักศึกษา	55611934
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2559
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร.สถาพร พรหมวงศ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอแบบแผนการประเมินสมรรถนะของสายอากาศแถบความถี่กว้างสำหรับระบบสื่อสารแถบกว้างยิ่ง โดยได้ทำการประเมินผลฟังก์ชันการถ่ายโอนในช่องสัญญาณย่านความถี่ของเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่ง ภายใต้สูตรการส่งผ่านของฟรีสด้วยการประยุกต์สูตรของฟรีสเพื่อให้สามารถใช้ได้อย่างเหมาะสมกับเทคโนโลยี ในส่วนของการทดลองวิจัยได้พิจารณาใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ในการวัดและบันทึกผล อีกทั้งใช้สายอากาศแถบกว้างแบบกรวยคู่ในการประเมินผลการวัดช่องสัญญาณการส่งผ่านย่านความถี่แถบกว้างยิ่งตามข้อกำหนดของ เอฟซีซี และได้ทำการศึกษาทดลองวิจัยวัดช่องสัญญาณการส่งผ่านในห้องไร้กระสะท้อน สำหรับข้อมูลที่ได้จากการวัดนำมาวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ที่ต้องการทราบ เช่น ขนาดและเฟสของช่องสัญญาณการถ่ายโอน รูปคลื่นที่รับได้ อัตราขยายในการส่งผ่าน และประสิทธิภาพช่องสัญญาณแถบกว้าง เป็นต้น ซึ่งแสดงไว้ในวิทยานิพนธ์นี้แล้วอย่างสมบูรณ์

แนวคิดหรือแบบแผนการประเมินสมรรถนะของสายอากาศแถบกว้างที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้เป็นวิธีคิดวิเคราะห์ที่เหมาะสมที่สุดอีกวิธีหนึ่งสำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารแถบกว้างยิ่งในการพิจารณาออกแบบสายอากาศ การประเมินผลช่องสัญญาณการส่งผ่าน การสูญเสียเชิงวิถี ประเมินผลความเพี้ยนของสัญญาณ และอัตราขยายในการส่งผ่านแบบกว้าง ในระบบการสื่อสารไร้สายแบบแถบกว้าง

Thesis Title	Performance Evaluation Scheme of Wideband Antenna for UWB Communication System
Student	Mr. Pohrath Premsombut
Student ID.	55611934
Degree	Master of Engineering
Program	Telecommunications Engineering
Year	2016
Thesis Advisor	Dr. Sathaporn Promwong

ABSTRACT

This thesis proposed the performance evaluation scheme of wideband antenna for UWB (ultra wideband) communication system. The channel transfer function in free space even for short-range wireless communications system based on the Friis transmission formula. By considering the signal pulse is Gaussian. And the receiver is considered using a correlation receiver. For measured using a vector network analyzer is the main equipment to test and record the results. The antenna used in the experimental study, a biconical antennas. The experimental measurement is measured in a anechoic chamber. The measurement data are evaluated based on extension of Friis's formula. The performances of wideband antennas transfer function are evaluated with path loss, correlation coefficient, transmission gain and BER. The results of the experiment were compared with the distance measured area near file and far file at 0.3, 0.5, 1.6 and 2 meters and the angular distance is less than 1.6 meters to consider a distortion rather far field. Which term best correlation coefficient is 99.94 percent at the far file, which is then presented with a definition that is precise and consistent with new technology In wireless This scheme is messier for design and evaluate wideband antenna of UWB system.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีด้วยคำแนะนำ ชี้แนะแนวทางในการแก้ปัญหาและคอยดูแลตลอดระยะเวลาที่ทำวิทยานิพนธ์นี้จาก อาจารย์ ดร.สถาพร พรหมวงศ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำ และคอยชี้แนะแนวทางเกี่ยวกับทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้อย่างดีมาโดยตลอด ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสิ้นอย่างสมบูรณ์ได้

ขอกราบขอพระคุณคณาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้าขอขอบคุณนักศึกษาปริญญาตรี โทและปริญญาเอก ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ในห้องปฏิบัติการวิจัย UWB-RS Lab ทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจให้มาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่คอยเป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกๆด้านมาโดยตลอด ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ปกรณ์ เปรมสมบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่อ|||อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	4
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดในการวิจัย.....	5
1.5 ขอบเขตการศึกษา.....	5
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	5
บทที่ 2 เทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	8
2.1 กล่าวนำ.....	8
2.2 นิยามของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง.....	9
2.3 ข้อกำหนดของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง.....	10
2.3.1 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่ง ในสหรัฐอเมริกา.....	10
2.3.2 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่ง ในยุโรป.....	12
2.3.3 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่ง ที่ใช้ร่วมกัน.....	14
2.4 มาตรฐานของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง.....	15
2.4.1 มาตรฐาน IEEE 802.15.3a.....	15
2.4.2 มาตรฐาน IEEE 802.15.4a.....	15
2.4.3 มาตรฐาน IEEE 802.15.6.....	15
2.5 จุดเด่นของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง.....	17
2.6 สรุป.....	18
บทที่ 3 ทฤษฎีของฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่ง.....	19
3.1 บทนำ.....	19
3.2 แบบจำลองการส่งผ่านระบบแถบกว้างยิ่ง.....	19
3.3 การสูญเสียเชิงวิถี.....	21
3.4 เครื่องรับสหสัมพันธ์.....	23
3.4.1 เครื่องรับสหสัมพันธ์ด้วยสัญญาณที่รับได้.....	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ได้โดยไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4.2 เครื่องรับสหสัมพันธ์ด้วยสัญญาณไอโซทรอปิก.....	24
3.5 ความเพี้ยนของรูปคลื่น.....	24
3.6 อัตราขยายการส่งผ่าน.....	26
3.7 รูปคลื่นสัญญาณส่งของแถบกว้างยิ่ง.....	25
3.8 บทสรุป.....	27
บทที่ 4 แบบแผนการทดลองวิจัยฟังก์ชันการถ่ายโอนแถบกว้างยิ่ง.....	28
4.1 กล่าวนำ.....	28
4.2 ขั้นตอนในการเตรียมการทดลอง.....	29
4.2.1 เครื่องวิเคราะห์ฟูริเยร์ขยายแบบเวกเตอร์.....	29
4.2.2 สายอากาศแบบกรวยคู่ (Biconical antenna).....	29
4.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง.....	32
4.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	34
4.5 ขั้นตอนและวิธีการในการทดลอง.....	34
4.6 สรุป.....	34
บทที่ 5 การประเมินผลของการทดลองวิจัยฟังก์ชันการถ่ายโอนแถบกว้างยิ่ง.....	35
5.1 กล่าวนำ.....	35
5.2 การประเมินผลวิจัยพลูรีระยะสั้น.....	35
5.2.1 ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศ.....	35
5.2.2 การประวิงกลุ่ม (Group Delay).....	37
5.2.3 รูปคลื่นสัญญาณที่ได้รับ.....	37
5.2.4 รูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตที่ผ่านเครื่องรับสหสัมพันธ์.....	38
5.2.5 อัตราการขยายของการส่งผ่านสัญญาณ.....	40
5.2.6 ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศที่ระยะห่าง สนามระยะไกล 0.5, 1, 1.5 และสนามระยะไกล 2, 4 เมตร.....	40
5.2.7 รูปคลื่นสัญญาณพัลส์ที่ด้านรับที่ระยะ 0.5 1 1.5 และ 2.0 เมตร.....	45
5.2.8 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์.....	48
5.3 สรุป.....	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	50
6.1 กล่าวนำ.....	50
6.2 ผลการทดลองวิจัยในสนามระยะใกล้และสนามระยะไกลแถบกว้างยิ่ง.....	50
6.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการวิจัยพัฒนา.....	51
เอกสารอ้างอิง.....	53
ภาคผนวก.....	55
ภาคผนวก ก ผลงานวิจัยที่ได้นำเสนอในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ.....	56
ประวัติผู้เขียน.....	57



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
2.1	ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC สำหรับการใช้งานในระบบการสื่อสาร ทั้งภายในและภายนอกอาคาร.....	11
2.2	ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสาร ทั้งภายในและภายนอกอาคาร.....	12
2.3	ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงานที่แก้ไขใหม่โดย ETSI สำหรับการใช้งานใน ของระบบการสื่อสารภายในอาคาร.....	13
2.4	ข้อกำหนดระดับ PSD ที่แผ่กระจายออกมาสำหรับการสื่อสารภายในอาคารเท่านั้น ที่กำหนดโดย MIC.....	14
4.1	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง.....	32
4.2	รายการอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองวัด.....	34
6.1	ค่าสูญเสียวิถีของรูปคลื่นแถบกว้างยิ่งด้านรับ.....	52
6.2	เปอร์เซ็นต์ของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของรูปคลื่นแถบกว้างยิ่งด้านรับ.....	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	โครงข่ายไร้สายทั่วไปภายในอาคารสำนักงาน.....2
1.2	โครงข่ายไร้สายภายในบ้านพักอาศัย.....2
1.3	บล็อกไดอะแกรมของวิเคราะห์การสูญเสียเชิงวิถีสำหรับระบบแบบแถบกว้างยิ่ง.....4
1.4	ขั้นตอนการศึกษาวิจัย.....7
2.1	การเปรียบเทียบระดับความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมระหว่างเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง และเทคโนโลยีอื่นๆ.....9
2.2	เปรียบเทียบอัตราข้อมูลและพิสัยระหว่างเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง และ เทคโนโลยีอื่นๆ.....10
2.3	ความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมตามข้อกำหนด FCC สำหรับระบบการสื่อสาร แถบกว้างยิ่งภายในและภายนอกอาคาร.....11
2.4	ความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมตามข้อกำหนด ETSI สำหรับระบบการสื่อสาร แถบกว้างยิ่งภายในและภายนอกอาคาร.....12
2.5	ความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมตามข้อกำหนด ETS ที่แก้ไขใหม่ สำหรับระบบ การสื่อสารแถบกว้างยิ่ง ภายในอาคาร.....13
2.6	ความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมสำหรับการสื่อสารภายในอาคาร ที่กำหนดร่วมกัน โดย FCC, ETSI และ MIC.....14
2.7	ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง.....16
3.1	บล็อกไดอะแกรมของการส่งผ่านของฟรีส สำหรับแถบกว้างยิ่ง.....20
3.2	บล็อกไดอะแกรมของการสูญเสียเชิงวิถีสำหรับแถบกว้างยิ่ง.....22
3.3	บล็อกไดอะแกรมของแบบจำลองการถ่ายโอนสำหรับแถบกว้างยิ่ง.....23
3.4	รูปคลื่นสัญญาณที่ใช้ในการส่งของแถบกว้างยิ่งในโดเมนทางเวลา.....26
3.5	ความหนาแน่นสเปกตรัมที่ใช้ในการส่งของแถบกว้างยิ่ง.....26
4.1	บล็อกไดอะแกรมการทดลองวัดและทดลองระบบการสื่อสารไร้สายระยะสั้นด้วย เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งสำหรับโครงข่ายไร้สายส่วนบุคคล.....24
4.2	เครื่องมือวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ (Vector Network Analyzer).....29
4.3	โครงสร้างและขนาดสายอากาศกรวยคู่ที่ใช้ในการทดลองวัด.....30
4.4	สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (S11) ของสายอากาศแบบกรวยคู่.....31
4.5	อัตราขยายและเฟสของสายอากาศแบบกรวยคู่.....31
4.6	แบบจำลองการวัดในห้องไร้การสะท้อนและการติดตั้งอุปกรณ์.....32
4.7	การวัดทดสอบวัดและทดลองระบบการสื่อสารไร้สายระยะสั้นด้วยเทคโนโลยี แถบกว้างยิ่งสำหรับโครงข่ายไร้สายส่วนบุคคล.....33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 ลักษณะการวางสายอากาศในมุมมองจากมุมด้านบน.....	33
5.1 ขนาดของฟังก์ชันการโอนของสายอากาศที่มุม 0 30 และ 60 องศา.....	36
5.2 เฟสของฟังก์ชันการโอนของสายอากาศที่มุม 0 30 และ 60 องศา.....	36
5.3 การประวิงกลุ่มของฟังก์ชันการถ่ายโอนสายอากาศที่มุม 0 30 และ 60 องศา กรณีสายอากาศส่งและรับเป็นสายอากาศแบบกรวยคู่.....	37
5.4 รูปคลื่นสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศ.....	38
5.5 รูปคลื่นสัญญาณที่เอาท์พุทของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ในกรณีใช้สัญญาณรับเป็น สัญญาณแม่แบบ.....	39
5.6 รูปคลื่นสัญญาณที่เอาท์พุทของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ในกรณีใช้สัญญาณ ไอโซทรอปิกเป็นสัญญาณแม่แบบ.....	39
5.7 ผลการเปรียบเทียบอัตราการขยายของการส่งผ่านสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง จากผลการทดลองวัด เป็นสายอากาศแบบกรวยคู่-สายอากาศแบบกรวย.....	40
5.8 ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศที่ระยะ 0.5 เมตร.....	41
5.9 ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศที่ระยะ 1 เมตร.....	41
5.10 ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศที่ระยะ 1.5 เมตร.....	42
5.11 ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศที่ระยะ 2 เมตร.....	42
5.12 เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศที่ระยะ 0.5 เมตร.....	43
5.13 เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศที่ระยะ 1 เมตร.....	43
5.14 เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศที่ระยะ 1.5 เมตร.....	44
5.15 เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศที่ระยะ 2 เมตร.....	44
5.16 รูปแบบสัญญาณด้านรับในการวัดเปรียบเทียบกับการทำนายที่ระยะทาง 0.5 เมตร.....	45
5.17 รูปแบบสัญญาณด้านรับในการวัดเปรียบเทียบกับการทำนายที่ระยะทาง 1 เมตร.....	46
5.18 รูปแบบสัญญาณด้านรับในการวัดเปรียบเทียบกับการทำนายที่ระยะทาง 1.5 เมตร.....	46
5.19 รูปแบบสัญญาณด้านรับในการวัดเปรียบเทียบกับการทำนายที่ระยะทาง 2 เมตร.....	47
5.20 การสูญเสียกำลังงานของสัญญาณในระยะทางต่างๆ.....	47
5.21 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่ง.....	48
6.1 แถบความถี่มาตรฐานของ MB-OFDM ที่ใช้สำหรับเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง.....	52
6.2 โครงข่ายไร้สายระยะสั้นด้วยเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง.....	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายความเร็วสูงในปัจจุบันถือได้ว่ามีบทบาท และเป็นที่ต้องการมากสำหรับผู้ใช้งานคนรุ่นใหม่ เพื่อเพิ่มความสะดวกสบาย และมีความรวดเร็วในการติดต่อสื่อสารข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ภายในอาคารและภายนอกอาคาร ภายในอาคารสำนักงาน และเครือข่ายภายในบ้านพักอาศัย ซึ่งเป็นระบบการสื่อสารแบบไร้สายระยะสั้น ซึ่งปัจจุบันนี้เป็นระบบการสื่อสารแบบไร้สาย ที่มีความต้องการอัตราการส่งข้อมูลที่สูงเพื่อรองรับระบบมัลติมีเดียและมีกำลังในการส่งที่ต่ำ โดยความต้องการเหล่านี้ได้ถูกนำไปพิจารณาเพื่อค้นหาเทคโนโลยีที่สามารถรองรับความต้องการเหล่านี้ เทคโนโลยีไร้สายที่เรียกว่าเทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง (Ultra-wideband: UWB) ถูกนำมาใช้งาน โดยมีแนวคิดใช้ในระบบสื่อสารแบบไร้สายระยะสั้นแบบแถบกว้างยิ่งเข้ามาใช้งานดังนี้

1. ความต้องการเพิ่มขึ้นการสื่อสารไร้สายความเร็วสูง และมีแถบความถี่กว้างมากขึ้น
2. มีความคับคั่งของการใช้งานของสเปกตรัมที่มีการจัดสรรให้ใช้ไม่เพียงพอ
3. การเติบโตของงานอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงในหน่วยงานและองค์กรต่าง ๆ บ้านพักอาศัย และตามสถานที่สาธารณะต่างๆ

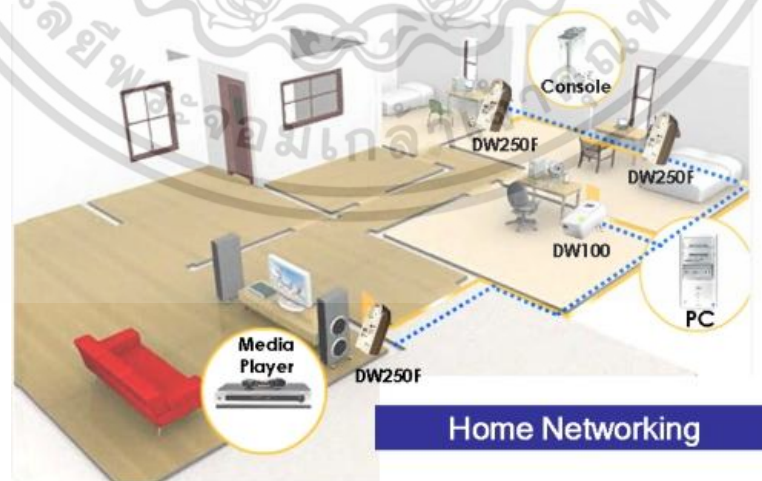
ระบบแถบกว้างยิ่งมีข้อดีที่เหนือกว่าระบบสื่อสารไร้สายระยะสั้นแบบอื่น ๆ ตรงที่สามารถสอดคล้องกับแนวโน้มที่เกิดขึ้นข้างต้นได้ดีกว่า โดยการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนั้นนับได้ว่าเป็นวิวัฒนาการของระบบการสื่อสารไร้สาย โดยมีการใช้แถบความถี่ในการส่งที่กว้างมากประกอบกับใช้กำลังส่งที่น้อย สัญญาณของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งนั้นมีความแตกต่างกับระบบการสื่อสารไร้สายที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน 2 ประการ คือ การส่งสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนั้นจะทำการส่งสัญญาณในลักษณะที่เป็นอิมพัลส์ โดยไม่มีการนำเอาสัญญาณข้อมูลไปทำการมอดูเลตกับสัญญาณพาห้ อีกประการหนึ่งสัญญาณแถบกว้างยิ่งจะใช้แบนวิดท์ในการส่งมากกว่าหรือเท่ากับ 20 % ของแถบความถี่กลาง หรือมีการใช้แถบความถี่มากกว่าหรือเท่ากับ 500 MHz ซึ่งจะพบว่ามีค่ามากกว่าแถบความถี่ของระบบการสื่อสารไร้สายที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมาก ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการนำเอาเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งนี้มาใช้กับระบบเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล (Wireless Personal Area Network : WPAN) อยู่ในมาตรฐานของ IEEE 802.15.3a หรือ UWB [1]-[2]

รูปที่ 1.1 โครงข่ายภายในอาคารสำนักงาน ซึ่งมักจะมีปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อช่องสัญญาณและสัญญาณพัลส์ด้านรับในการสื่อสาร เช่น อุปกรณ์เครื่องใช้ต่าง ๆ ผนัง หน้าต่าง ซึ่งเป็นระบบการสื่อสารระยะสั้นที่มีความต้องการอัตราการส่งข้อมูลที่สูง เพื่อรองรับระบบมัลติมีเดียที่ใช้ในอาคารสำนักงาน



รูปที่ 1.1 โครงข่ายไร้สายภายในอาคารสำนักงานแบบกว้างยิ่ง [1]

ในรูปที่ 1.2 การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์เครือข่ายภายในบ้านพักอาศัย เช่น กล้องถ่ายภาพดิจิทัล เครื่องเล่นดีวีดี เครื่องเล่นดีวีอาร์ คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ฯลฯ ซึ่งจะเป็นการเชื่อมต่อที่มีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงประมาณ 110 Mb/s ในระยะทาง 10 เมตร และมีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงขึ้นในระยะทางที่สั้นลง



รูปที่ 1.2 โครงข่ายไร้สายภายในบ้านพักอาศัยแบบกว้างยิ่ง [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายระยะสั้นได้นำมาประยุกต์ใช้ภายในอาคารสำนักงาน และเครือข่ายในบ้านพักอาศัย มีจุดเด่นที่สามารถส่งผ่านข้อมูลข่าวสารได้สูง ใช้กำลังงานส่งต่ำ และต้นทุนการผลิตต่ำด้วย การแพร่กระจายคลื่นภายในอาคารนั้น ยากสำหรับทำการประมาณและการทำงาน เนื่องจากเกิดการสะท้อนและเกิดการจางหายของสัญญาณเป็นจำนวนมาก ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้ศึกษาคุณลักษณะการสูญเสียเชิงวิถีแบบแถบกว้างยิ่งในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารสำนักงาน และเครือข่ายในบ้านพักอาศัย สำหรับช่องสัญญาณแบบไร้สายระยะสั้นซึ่งจะทำให้สามารถนำมาใช้พิจารณาเพื่อเลือกพารามิเตอร์ของสัญญาณส่งที่เหมาะสม อีกทั้งยังสามารถนำมาใช้ประมาณหาค่าระดับกำลังงานของสัญญาณที่รับได้เพื่อนำไปใช้วิเคราะห์หาประสิทธิภาพของระบบต่อไป

จากปัญหาที่เกิดขึ้นนี้จึงได้เสนอวิธีการที่จะมาช่วยในการวิเคราะห์ศึกษาถึงผลกระทบ ในกรณีที่เกิดการสูญเสียในการแพร่กระจายคลื่นย่านแถบกว้างยิ่ง โดยได้นำหลักการคำนวณตามสมการของการส่งผ่านของฟรีส (Friis' transmission formula) และรวมถึงได้มีการประยุกต์สมการการส่งผ่านของฟรีส (Extension of Friis') เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความผิดเพี้ยนของสัญญาณด้วย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาคคุณลักษณะฟังก์ชันสัญญาณการถ่ายโอน การสูญเสียเชิงวิถี ความเพี้ยนของรูปคลื่นแบบแถบกว้างยิ่งสำหรับการสื่อสารแบบไร้สายระยะสั้น รวมไปถึงคุณสมบัติของสายอากาศที่ส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะของช่องสัญญาณคลื่นวิทยุแบบแถบกว้างยิ่งบนพื้นฐานของการวัดแล้วนำเอาผลที่ได้จากการวัดมาทำการวิเคราะห์ผลและทำการประเมินด้วยเครื่องรับสหสัมพันธ์

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาคคุณลักษณะฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณการสูญเสียเชิงวิถีและความเพี้ยนของรูปคลื่นแบบแถบกว้างยิ่งในสนามระยะใกล้และระยะไกลสำหรับการสื่อสารไร้สายระยะสั้น เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการพิจารณาทดลองวิจัยในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร (Indoor)ต่อไป โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่ายแบบเวกเตอร์ (Vector Network Analyzer : VNA) เป็นอุปกรณ์หลักในการทดสอบร่วมกับสายอากาศ โดยใช้สัญญาณส่งเป็นพัลส์แบบเกาส์ (Gaussian pulse) จากนั้นผลการทดลองวัดจะนำไปประเมินผลของคุณสมบัติของสายอากาศที่มุมต่างๆ สนามแม่เหล็กไฟฟ้าในระยะใกล้และระยะไกล ความผิดเพี้ยนจากสายอากาศ การสูญเสียเชิงวิถีสูงสุด สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และอัตราขยายในการส่งผ่าน วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการทดลองวิจัย ทั้งในห้องไร้การสะท้อนและภายในอาคาร โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ในการวัดและบันทึกผล สายอากาศที่ใช้ทดสอบเป็นสายอากาศแบบกรวยคู่

วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย

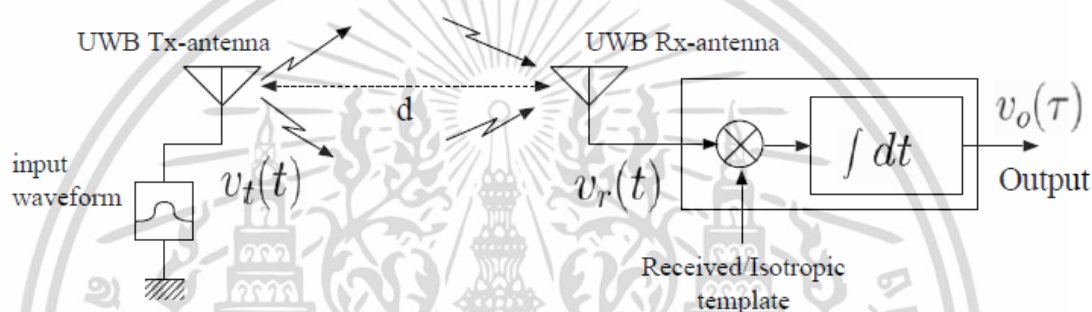
วัตถุประสงค์ของการศึกษาเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง การประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายระยะสั้น โดยได้พิจารณาทฤษฎีหลักการวิเคราะห์พื้นฐานบนสูตรการส่งผ่านของฟรีส และการทดลองวิจัยวัดจริง

ศึกษาคคุณสมบัตินสายอากาศที่ได้สร้างขึ้นจากห้องปฏิบัติการวิจัยซึ่งสามารถแผ่กระจายสัญญาณในแถบกว้างได้ดีตลอดย่านความถี่แถบกว้างยิ่งและใช้ในการทดลองวิจัยได้จริง

ประยุกต์ใช้สูตรการส่งผ่านของฟรีสสำหรับวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งจะประกอบด้วยคุณสมบัติทางความถี่ของสายอากาศ, คุณสมบัติทางความถี่ของกระแพรในอวกาศว่าง, และสเปกตรัมของสัญญาณส่ง

แบบแผนการวัดและวิเคราะห์คุณลักษณะแถบกว้างได้พิจารณาฟังก์ชันการถ่ายโอนสายอากาศ โดยวิธีการที่ซับซ้อน และการทำซ้ำเพื่อให้มีความแม่นยำในการวัดช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

การจำลองวิเคราะห์ระบบการส่งผ่านสำหรับวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งได้แสดงในรูปที่ 1.3, เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ได้ใช้รูปคลื่นต้นแบบจากสัญญาณที่รับได้ และสำหรับรูปคลื่นต้นแบบไอโซทรอปิก เพื่อการพิจารณาคุณภาพในความผิดเพี้ยนสัญญาณรูปคลื่นที่ใช้ในการส่ง



รูปที่ 1.3 บล็อกไดอะแกรมของการจำลองการส่งผ่านแถบกว้างยิ่งสำหรับระบบสื่อสารระยะสั้น [2]

แบบแผนการทดลองวิจัยทั้งหมดประกอบด้วยวิธีการที่มีความเป็นจริง เพื่อความเหมาะสมแม่นยำสูงสุดระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับในสนามระยะใกล้และสนามระยะไกลและอัตราขยายในการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่ง ส่วนสายอากาศในการทดลองเป็นสายอากาศแบบแถบกว้าง ใช้ในการประเมินผลการทดลองวัด และการประเมินผลคุณลักษณะการส่งผ่านสัญญาณของสายอากาศ

ท้ายสุดได้ทำการจำลองและทดลองวัดจริงในห้องปฏิบัติการสะท้อนพิจารณาช่องสัญญาณการถ่ายโอนสูญเสียเชิงวิถีแบบแถบกว้างถึงการสูญเสียเชิงวิถีและความเพี้ยนรูปคลื่น โดยนิยามที่ได้เสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอแบบแผนการทดลองวิจัยและการประเมินผลของคุณลักษณะฟังก์ชันการถ่ายโอนแถบกว้างยิ่งและการวิเคราะห์พารามิเตอร์เพื่อแก้ปัญหาในการสูญเสียในการส่งผ่านสัญญาณของสนามระยะใกล้ และสนามระยะไกล เพื่อวิเคราะห์ถึงผลกระทบที่เกิดจากการส่งผ่านช่องสัญญาณและสายอากาศ ซึ่งในการศึกษาทดลองวิจัยได้พิจารณารูปแบบการวัดอยู่หลายรูปแบบด้วยกัน เช่น รูปแบบการวัดของคุณลักษณะฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศในห้องปฏิบัติการสะท้อนสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในระยะใกล้ และสนามแม่เหล็กไฟฟ้าระยะไกล แถบกว้างยิ่งในห้องปฏิบัติการสะท้อน

จากนั้นนำผลที่ได้จากการวัดไปวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ที่สำคัญ บนพื้นฐานสูตรการส่งผ่านของฟรีส และทางด้านรับได้ใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบคุณลักษณะช่องสัญญาณแล้วจะเก็บผลจากการทดลองวิจัยเพื่อนำมาทำการปรับปรุงพัฒนาสายอากาศให้เหมาะสมกับการใช้งานและสามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอแบบแผนการทดลองวิจัยฟังก์ชันการถ่ายโอนสนามระยะใกล้และสนามระยะไกลของระบบแถบกว้างยิ่งบนพื้นฐานสูตรการส่งผ่านของฟรีสโดยพิจารณาความแม่นยำ ความเพี้ยนของคุณลักษณะการสูญเสียเชิงวิถีแบบแถบกว้างยิ่ง และการเสนอเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ สำหรับการวัดได้ใช้เครื่องวิเคราะห์โคร่งข่ายแบบเวกเตอร์ในการวัดและบันทึกผล โดยใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ [3] ซึ่งเป็นสายอากาศที่มีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัว โดยทำการทดสอบตลอดช่วงความถี่ตั้งแต่ 3 GHz ถึง 11 GHz ครอบคลุมช่วงความถี่ที่กำหนดให้ใช้งานในการสื่อสารคือตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ซึ่งถูกกำหนดโดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal communication commission : FCC) ผลตอบสนองเชิงความถี่ในช่องสัญญาณ สามารถหาได้จากการสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน หรือ S_{21} ในระบบ ซึ่งในการศึกษาทดลองวิจัยได้พิจารณารูปแบบวัดอยู่หลายรูปแบบด้วยกัน เช่น รูปแบบการวัดของคุณลักษณะฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศในห้องไร้การสะท้อน สนามแม่เหล็กไฟฟ้าในระยะใกล้ และสนามแม่เหล็กไฟฟ้าระยะไกลในห้องไร้การสะท้อน ผลที่ได้จากการวัดนำมาวิเคราะห์ด้วยการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อตรวจสอบพารามิเตอร์ต่าง ๆ ซึ่งส่งผลกระทบต่อช่องสัญญาณการส่งผ่านแถบกว้างยิ่ง และพิจารณาสัญญาณทางด้านรับว่ามีผลกระทบทำให้สัญญาณเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่อย่างไร แล้วทำการประเมินผลเปรียบเทียบที่ได้จากการทดลองวิจัย

1.5 ขอบเขตการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาคุณลักษณะของฟังก์ชันการถ่ายโอนในสนามระยะใกล้และสนามระยะไกลการสูญเสียเชิงวิถีสำหรับช่องสัญญาณแบบไร้สายระยะสั้น บนพื้นฐานหลักการส่งผ่านของฟรีส และเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ด้วยสัญญาณที่รับได้และแบบสหสัมพันธ์ไอโซทรอปิก ผลที่ได้จากการทดลองวัดจะนำไปประเมินผลของคุณสมบัติของสายอากาศที่มุมต่างๆ สนามแม่เหล็กไฟฟ้าในระยะใกล้และระยะไกล ความผิดเพี้ยนจากสายอากาศ การสูญเสียเชิงวิถีสูงสุด สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ อัตราขยายในการส่งผ่านและประสิทธิภาพของระบบ ได้ทำการทดลองวิจัยในห้องไร้การสะท้อน โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โคร่งข่ายแบบเวกเตอร์ในการวัดและบันทึกผล สายอากาศที่ใช้ในการประเมินผลการวัดเป็นสายอากาศแบบกรวยคู่

1.6 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน

เทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายแบบแถบกว้างยิ่งเป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่สามารถส่งข้อมูลได้มาก และเป็นสัญญาณส่งแบบพัลส์ ซึ่งทำให้การส่งสัญญาณได้ด้วยความเร็วสูงเนื่องจากมีความถี่กว้างมาก ๆ เป็น GHz นั้นสัญญาณที่ถูกส่งออกจากสายอากาศด้านรับซึ่งมีโอกาสที่จะเกิดการสูญเสีย เกิดการลดทอน

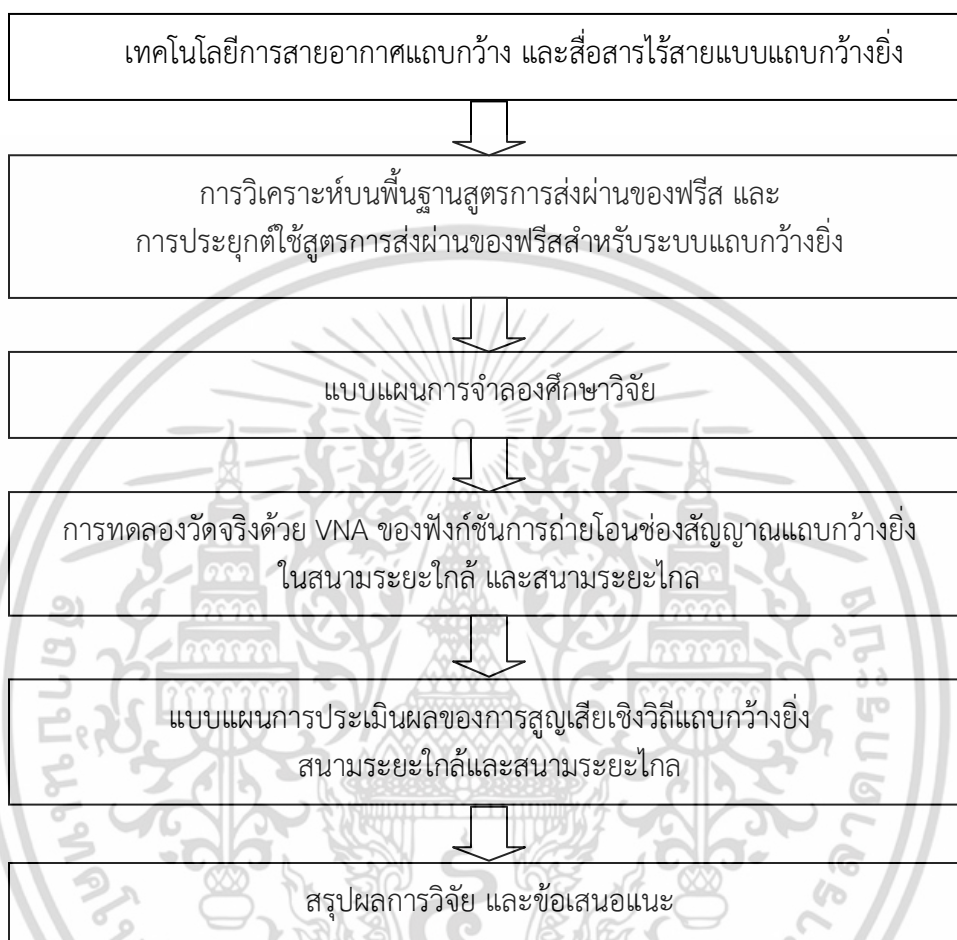
เกิดการจางหาย เกิดการสะท้อนหรือการหักเหของสัญญาณได้ ทั้งนี้ล้วนแต่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของสัญญาณที่รับได้ ซึ่งปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดปัญหาเหล่านี้ คือ สภาวะแวดล้อมที่อยู่รอบข้าง ในระบบการส่งสัญญาณ ในงานวิจัยเกี่ยวกับเทคโนโลยีการสื่อสารแถบกว้างยิ่งที่ผ่านมา ได้มีการนำเสนอแบบจำลองการสูญเสียในการส่งผ่านในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร ซึ่งไม่ได้มีการพิจารณาเพื่อแก้ปัญหาในการสูญเสียในการส่งผ่านสัญญาณน้อยที่สุดและให้มีคุณภาพดีขึ้น ได้พิจารณารูปแบบวัตถุอยู่หลายรูปแบบด้วยกันของการส่งในสภาวะแวดล้อมจริงภายในอาคาร

การศึกษานี้ได้พิจารณาการสูญเสียเชิงวิถีแบบแถบกว้างยิ่งในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร สำหรับช่องสัญญาณแบบไร้สายระยะสั้น โดยใช้เครื่องวิเคราะห์วงจรข่ายแบบเวกเตอร์ในการวัดและบันทึกผล ของฟังก์ชันการถ่ายโอนในอวกาศว่างของช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง เป็นอุปกรณ์หลักในการทดสอบร่วมกับสายอากาศ โดยใช้สัญญาณส่งเป็นพัลส์แบบเกาส์ จากนั้นผลการทดสอบที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ต่างๆ รูปแบบการวัดของคุณลักษณะฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศในห้องไร้การสะท้อน สนามแม่เหล็กไฟฟ้าในระยะใกล้ และสนามแม่เหล็กไฟฟ้าระยะไกลในห้องไร้การสะท้อน รูปแบบการวัดช่องสัญญาณภายในอาคาร และรูปแบบการวัดช่องสัญญาณจากภายในอาคารสู่นอกอาคาร และนำผลที่ได้จากการวัดไปวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ที่สำคัญ บนพื้นฐานสูตรการส่งผ่านของฟรีส และการประยุกต์สูตรของฟรีส ส่วนทางด้านรับได้ใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์สองแบบมาเปรียบเทียบกันระหว่างเครื่องรับแบบสัญญาณที่รับได้ และเครื่องรับแบบไอโซทรอปิก ผลการทดลองวิจัยและผลการวิเคราะห์ของการสูญเสียเชิงวิถีแบบแถบกว้างยิ่ง การผิดเพี้ยนของสัญญาณ

1.7 ขั้นตอนการศึกษา

แบบแผนแนวคิดและหลักการที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้นนั้น สามารถสรุปเป็นขั้นตอนการศึกษาสำหรับวิทยานิพนธ์ดังนี้ เริ่มจากศึกษาถึงที่มาของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง และข้อกำหนดของระบบแถบกว้างยิ่ง แล้วศึกษาอุปกรณ์ขั้นตอนในการทดลองวิจัย การวัดช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งรวมทั้งสายอากาศ แถบกว้างที่ใช้ในการประเมินผลการวัด เครื่องมือวัด VNA ผลที่ได้จากการวัดนำไปประเมินผลด้วยการเลียนแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่สำคัญ บนพื้นฐานสูตรการส่งผ่านของฟรีส (โดยการประยุกต์สูตรของฟรีส) และทางด้านรับได้ใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์สองแบบมาเปรียบเทียบกันระหว่างเครื่องรับแบบสัญญาณที่รับได้ และเครื่องรับแบบไอโซทรอปิก ผลการทดลองวิจัยและผลการวิเคราะห์ของการสูญเสียเชิงวิถีแบบแถบกว้างยิ่ง การผิดเพี้ยนของสัญญาณ ซึ่งพารามิเตอร์เหล่านี้ถือเป็นปัจจัยหลักในการวิเคราะห์ช่องสัญญาณ จากนั้นจะเป็นขั้นตอนในการศึกษาถึงวิธีการทดลองและวิเคราะห์ผล แล้วนำผลการทดลองวิจัยที่ได้มาสรุปผลวิเคราะห์ผลการทดลองและเรียบเรียงเขียนเป็นวิทยานิพนธ์ โดยในการทำวิทยานิพนธ์มีแบบแผนงานและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยมีดังนี้

แบบแผนการศึกษาของงานวิจัย



รูปที่ 1.4 แบบแผนการศึกษาวิจัย

บทที่ 2

เทคโนโลยีสื่อสารแถบกว้างยิ่ง

2.1 บทนำ

การสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง เป็นเทคโนโลยีไร้สายที่มีคุณสมบัติเด่นหลายด้านมีการส่งสัญญาณในลักษณะเป็นพัลส์สั้น ๆ มีช่วงเวลาของพัลส์แคบมากและใช้กำลังงานในการส่งสัญญาณมีค่าต่ำ ปัจจุบันนี้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง ได้รับความสนใจอย่างแพร่หลาย สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับการสื่อสารไร้สายเพื่อรองรับความต้องการของผู้ใช้งาน เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งเป็นเทคโนโลยีที่มีความละเอียดทางโดเมนเวลาสูงซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เทคโนโลยีนี้มีความเที่ยงตรงสูงมากเช่นกัน ด้วยสาเหตุอันเนื่องมาจากแบนด์วิดท์ของระบบแถบกว้างยิ่งกว้างมาก อีกทั้งยังมีคุณสมบัติในการทะลุทะลวงสิ่งกีดขวางได้ดี ยกตัวอย่างเช่น กำแพง ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป สัญญาณของระบบแถบกว้างยิ่ง มีแบนด์วิดท์มากกว่าหรือเท่ากับ 500 MHz หรือมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนมากกว่าหรือเท่ากับ 0.2 จากสูตรการหาค่าความจุของช่องสัญญาณตามที่ Shannon ได้กล่าวไว้ แสดงให้เห็นว่า ระบบแถบกว้างยิ่ง เมื่อแบนด์วิดท์กว้างจะทำให้มีค่าความจุของช่องสัญญาณมาก ทำให้ส่งข้อมูลได้ในปริมาณที่มากขึ้น สามารถรองรับผู้ใช้งานได้จำนวนมากตามไปด้วย จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นการส่งสัญญาณของระบบแถบกว้างยิ่ง นั้นจะทำการส่งสัญญาณผ่านช่องสัญญาณคลื่นวิทยุในลักษณะที่เป็นอิมพัลส์ โดยไม่มีการนำเอาสัญญาณข้อมูลไปมอดูเลตกับสัญญาณพาหะนั้นั้นเทคนิคของระบบนี้จึงไม่จำเป็นต้องใช้มิกเซอร์ ทำให้สร้างระบบได้ง่าย ซึ่งหมายความว่าสามารถสร้างระบบทั้งภาคส่งและภาครับให้มีราคาถูก ต้นทุนต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับระบบการสื่อสารแบบดั้งเดิมที่ใช้คลื่นความถี่วิทยุ (Radio Frequency : RF)

ประวัติของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง ได้ถูกนำมาใช้งานตั้งแต่ 100 ปี ที่ผ่านมา โดย G. Marconi ได้ทำการทดลองส่งแบบไร้สายระหว่างเกาะ Isle of Wight ไปยังเกาะ Cornwall (เกาะทั้งสองเป็นอาณานิคมตั้งอยู่บนดินแดนของประเทศอังกฤษ) โดยใช้เครื่องส่ง spark-gap [3]–[5]

ต่อมาเทคโนโลยีวิทยุได้ถูกพัฒนา เพื่อให้บริการกับระบบโทรศัพท์ซึ่งในตอนนั้นยังใช้ระบบแอนะล็อก จนกระทั่งได้มีการพัฒนาให้เป็นระบบดิจิทัลและถูกใช้งานกันอย่างแพร่หลายในเวลาต่อมา ในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 1960 ถึง 1990 องค์กรทหารของประเทศสหรัฐอเมริกา ได้นำระบบแถบกว้างยิ่ง มาใช้งานสำหรับระบบการนำร่องเรดาร์ ต่อมาในปีคริสต์ศักราช 1998 คณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission: FCC) เริ่มมีการจัดประชุมและร่างข้อกำหนดสำหรับเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง เป็นครั้งแรก จนกระทั่งในเวลาต่อมา เดือนกุมภาพันธ์ ปี ค.ศ. 2002 FCC ได้ลงมติและนำเสนอรายงานอย่างเป็นทางการสำหรับข้อกำหนดและข้อจำกัดของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง โดยอนุมัติให้ใช้ในเชิงพาณิชย์กับการใช้งานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ร่วมกันบนแถบความถี่ที่กำหนดไว้ และต้องมีความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมที่ส่งตาม [6]

เนื่องจากระบบแถบกว้างยิ่ง ทำงานบนช่วงแถบความถี่ที่มีแบนด์วิดท์กว้าง ดังนั้น FCC จึงกำหนดความหนาแน่นของสเปกตรัมกำลังงานส่งต่อความถี่ในการส่งสัญญาณของระบบแถบกว้างยิ่งไม่เกิน -41.3 dBm/MHz เพื่อป้องกันไม่ให้ระบบแถบกว้างยิ่ง ไปแทรกสอดกับระบบแถบแคบอื่น ๆ ด้วยสาเหตุดังกล่าวจะเห็นว่าระดับความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของระบบแถบกว้างยิ่ง อยู่ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อคุณผู้เห็นเป็นประโยชน์ให้นำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว่าระดับสัญญาณรบกวน (Part 15 limit) ดังนั้นเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง จึงสามารถใช้งานได้ด้วยเทคโนโลยีคลื่นวิทยุอื่นโดยจะมีการแทรกสอดน้อย

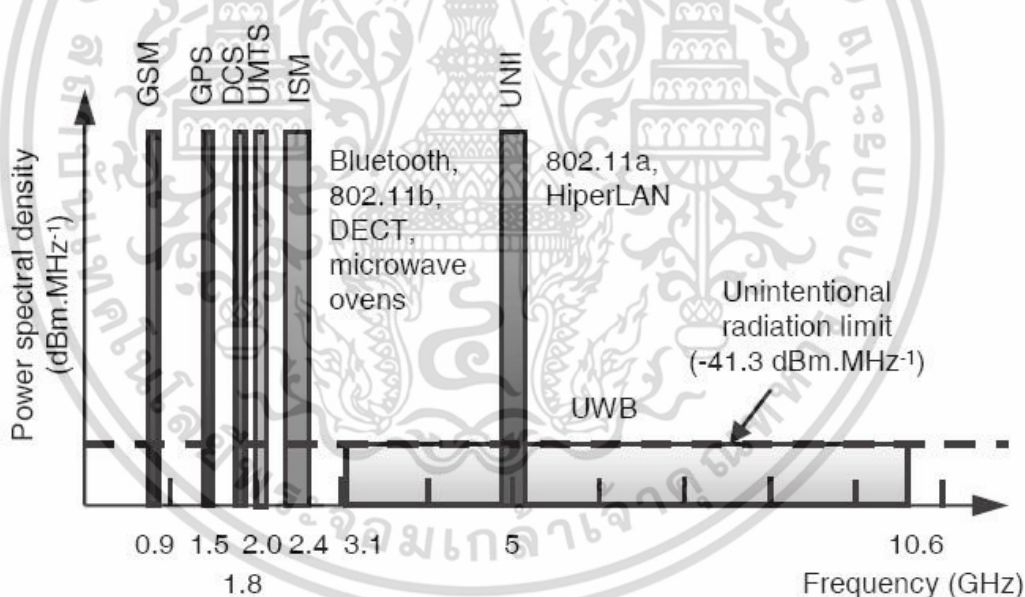
2.2 นิยามของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง

จากคำจำกัดความของ FCC ได้กำหนดไว้ว่า การส่งผ่านสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่ง คือ สัญญาณใด 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]

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

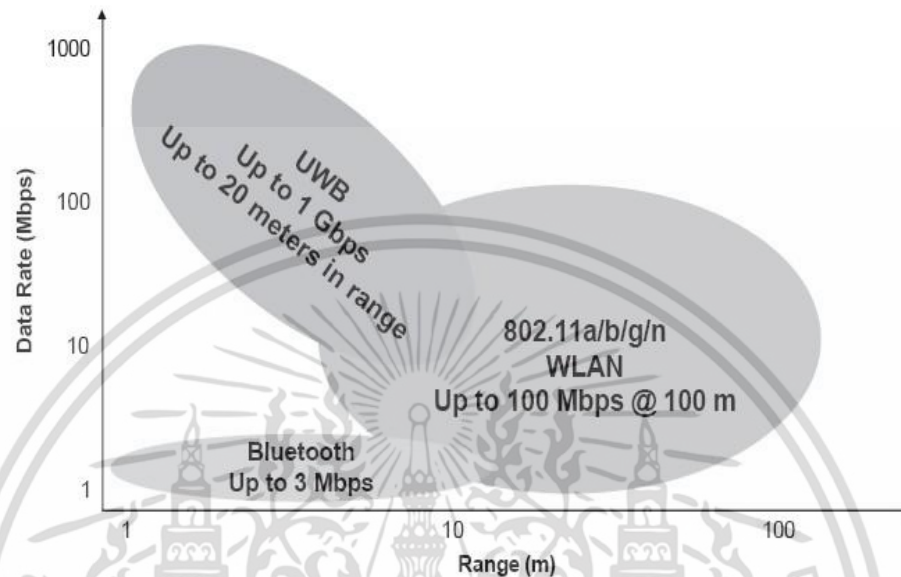


รูปที่ 2.1 การเปรียบเทียบระดับความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมระหว่างเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง และ เทคโนโลยีอื่น ๆ [8]

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

จากรูปที่ 2.1 เมื่อทำการเปรียบเทียบระบบการสื่อสารทั้งสองระบบ จะเห็นว่าระบบการสื่อสารแบบดั้งเดิม (แถบแคบ) จะมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนน้อยกว่าระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยกตัวอย่างเช่น กรณีของระบบ UMTS (Universal Mobile Telephone System) ที่ทำงานบนช่วงแถบความถี่ประมาณ 2 GHz และมีแบนด์วิดท์ประมาณ 5 MHz ซึ่งมักจะเรียกระบบนี้ว่าแบนด์กว้าง แต่ถ้าหากเราพิจารณาจากสมการที่ 2.2 ค่าแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนที่คำนวณออกมาจะได้เท่ากับ 0.0025 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.2 ของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง (เกือบ 80 เท่า)



รูปที่ 2.2 เปรียบเทียบอัตราข้อมูลและพิสัยระหว่างเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง และ เทคโนโลยีอื่น ๆ [8]

2.3 ข้อกำหนดของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง

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

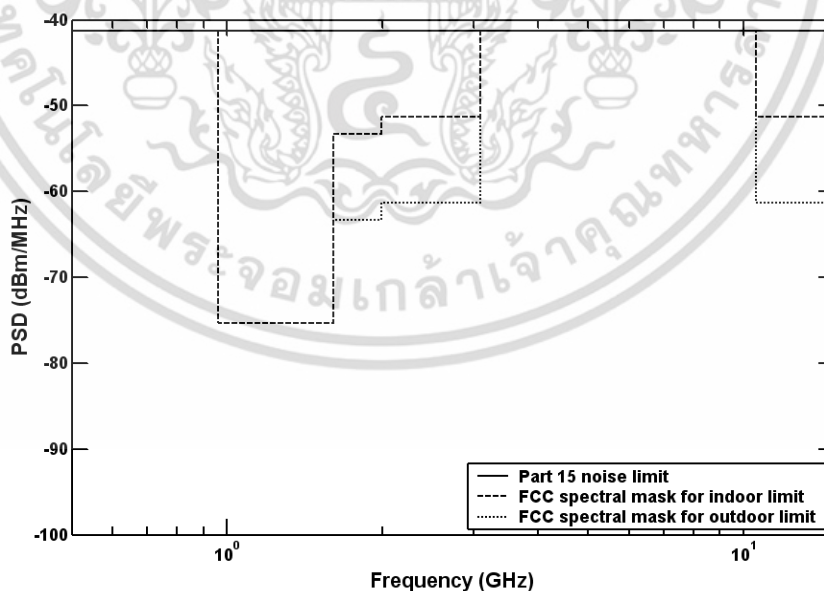
2.3.1 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่ง ในสหรัฐอเมริกา

ในปี ค.ศ. 1998 FCC ได้ออกประกาศเกี่ยวกับการตรวจสอบ (Notice of Inquiry: NOI) เนื่องจากเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งมีการแทรกสอดกับสัญญาณระบบที่มีอยู่เดิมและระบบความปลอดภัยในกิจการการบินและทิศทางในการค้นคว้าเกี่ยวกับเครื่องส่งในระบบแถบกว้างยิ่ง ด้วยเช่นกัน ในวันที่ 14 กุมภาพันธ์ ปี ค.ศ. 2002 FCC ได้ออกกฎสำหรับระบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งเป็นการกำหนดขอบเขตของการแพร่กระจายกำลังงานฉบับที่หนึ่งสำหรับระบบแถบกว้างยิ่ง และยังอนุญาตเอกสารนี้ให้เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในลักษณะทางการค้าอีกด้วย โดยรายงานล่าสุดของคำประกาศและระเบียบการไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉบับที่หนึ่งได้เผยแพร่ต่อสาธารณชนในวันที่ 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 [10]

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



รูปที่ 2.3 ความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมตามข้อกำหนด FCC สำหรับระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งภายในและภายนอกอาคาร [10]

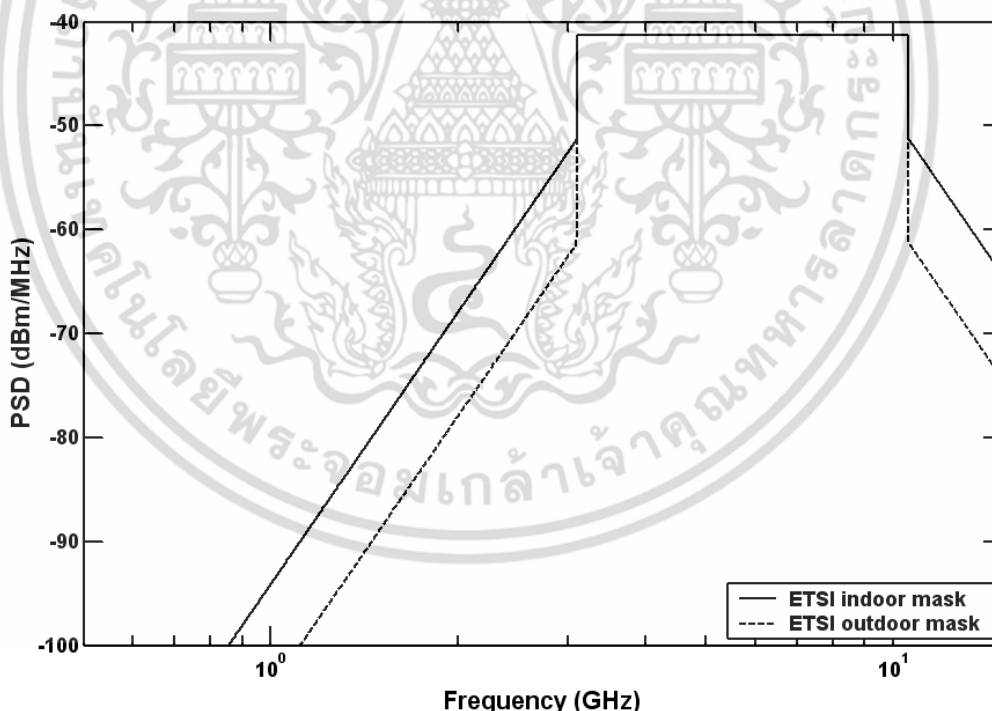
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่ง ในยุโรป

ปัจจุบันโครงสร้างของข้อกำหนดระบบแถบกว้างยิ่ง ในทวีปยุโรปอยู่ในช่วงรอข้อมูลทางเทคนิคที่เกี่ยวกับผลกระทบของระบบแถบกว้างยิ่ง บนระบบเดิมที่มีใช้กันอยู่ โดยทางยุโรปนั้น บางส่วนของข้อกำหนดจะรอบคอบกว่าของทางสหรัฐอเมริกา เพราะทางด้านยุโรปนั้นในส่วนของเทคโนโลยีใหม่ต้องแสดงให้เห็นว่า ส่งผลกระทบมากน้อยหรือไม่กับระบบเดิมที่มีอยู่โดยข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานสำหรับการใช้งานทั้งภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย ITU หรือ ETSI แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.2 [11]

ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร [11]

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	$-51.3+87 \log (10.6 / f)$	$-61.3+87 \log (10.6 / f)$



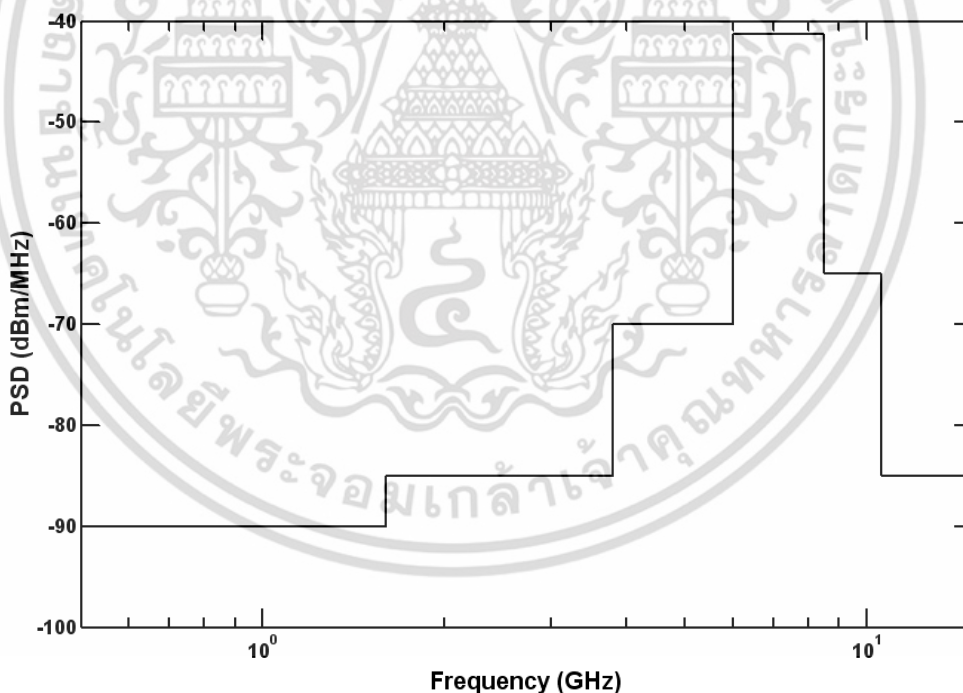
รูปที่ 2.4 ความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมตามข้อกำหนด ETSI สำหรับระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งภายในและภายนอกอาคาร [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันนี้ ETSI ได้กำหนดการแพร่กระจายกำลังงานและหน้ากาสเปกตรัมอย่างชัดเจน ภูมิข้อบังคับของการแพร่กระจายของ PSD ที่ได้จัดทำขึ้นนี้อนุญาตให้ระบบการสื่อสารแถบกว้างยังสามารถใช้งานได้เฉพาะภายในอาคารเท่านั้น โดยมีช่วงแถบความถี่ใช้งานลดลงเป็น 6.0 GHz ถึง 8.5 GHz ดังแสดงในตารางที่ 2.3 [12]

ตารางที่ 2.3 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงานที่แก้ไขใหม่โดย ETSI สำหรับการใช้งานในของระบบการสื่อสารภายในอาคาร [12]

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



รูปที่ 2.5 ความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมตามข้อกำหนด ETS ที่แก้ไขใหม่ สำหรับระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง ภายในอาคาร [12]

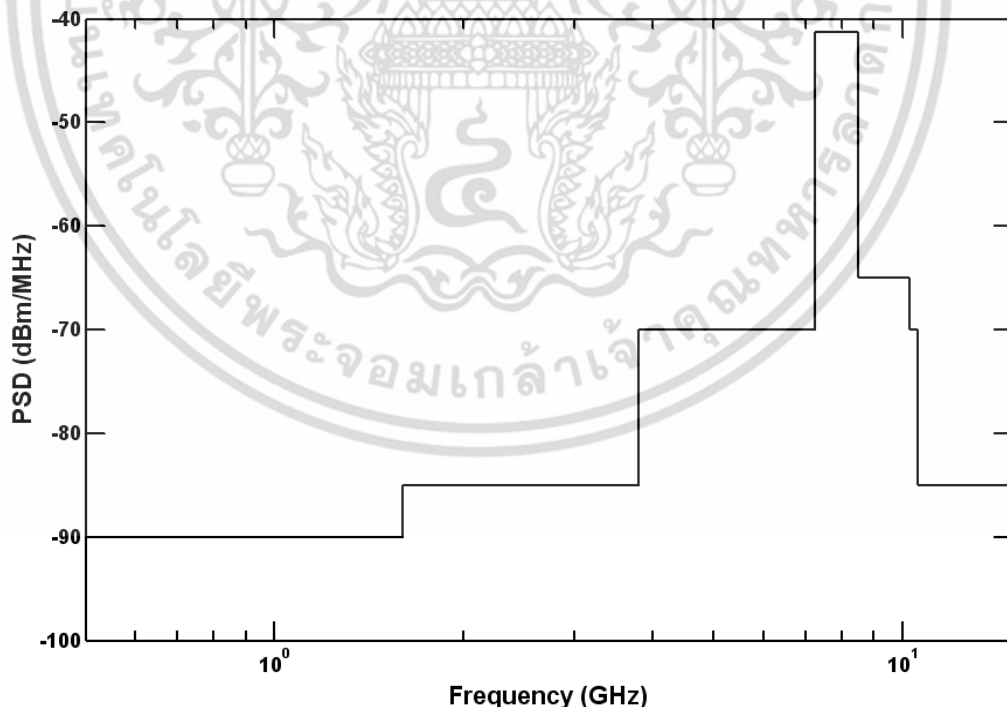
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่ง ที่ใช้ร่วมกัน

ความร่วมมือกันระหว่างประเทศสหรัฐอเมริกา กลุ่มประเทศในยุโรป และประเทศญี่ปุ่น โดยมีการกำหนดให้ใช้ข้อกำหนดระดับ PSD ที่แผ่กระจายออกมารวมกัน โดยยึดให้เป็นไปตามข้อกำหนดของ FCC, ETSI และ MIC พร้อมกัน เป็นข้อกำหนดที่อนุญาตให้ใช้ระบบแถบกว้างยิ่ง ได้ภายในอาคารเท่านั้น มีช่วงแถบความถี่ใช้งานเป็น 7.25-8.5 GHz โดยที่ความถี่ต่ำ 7.25 GHz เป็นข้อกำหนดของ MIC และความถี่สูง 8.5 GHz เป็นข้อกำหนดของ ETSI ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.5 และกราฟสเปกตรัมมาร์คได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.5 [14]

ตารางที่ 2.4 ข้อกำหนดระดับ PSD ที่แผ่กระจายออกมาสำหรับการสื่อสารภายในอาคารเท่านั้น ที่กำหนดโดย MIC [14]

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



รูปที่ 2.6 ความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมสำหรับการสื่อสารภายในอาคาร ที่กำหนดร่วมกัน โดย FCC, ETSI และ MIC [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 มาตรฐานของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง

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

2.4.1 มาตรฐาน IEEE 802.15.3a

มาตรฐาน IEEE 802.15.3a ได้พยายามปรับปรุงอัตราการส่งของมาตรฐาน IEEE 802.15.3 ให้สูงขึ้นโดยการนำเอาเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง มาใช้ ซึ่งมีจุดประสงค์จะนำมาใช้กับ WPAN โดยมีระยะทางการใช้งานถึง 10 m ที่อัตราการส่งข้อมูล 110 Mbps และที่ระยะทางไกลคือประมาณ 2 m สามารถมีอัตราส่งข้อมูลได้สูงถึง 480 Mbps [15] แต่เกิดปัญหาเนื่องจากไม่สามารถตกลงกันได้ว่าจะเลือกใช้เทคโนโลยีไหนระหว่างการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่ตั้งฉากหลายแถบ (Multi-Band Orthogonal Frequency Division Multiplexing: MB-OFDM) กับแถบกว้างยิ่งลำดับตรง (Direct Sequence Ultra Wideband: DS-UWB) ซึ่งได้รับการสนับสนุนจากสองบริษัทพันธมิตร และในเดือนมกราคม ปี ค.ศ. 2006 มาตรฐานนี้ได้ถูกยกเลิกไป

2.4.2 มาตรฐาน IEEE 802.15.4a

มาตรฐาน IEEE 802.15.4a ได้มีการนำเอาเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง มาประยุกต์ใช้สำหรับ WPAN โดยปรับปรุงให้มีระยะทางการใช้งานที่ไกลขึ้นได้ถึงประมาณ 100 m โดยลดอัตราส่งข้อมูลลง มีอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ที่นาน รวมทั้งมีราคาถูก สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับระบบโครงข่ายการตรวจจับไร้สาย และระบบการหาตำแหน่งที่มีความเที่ยงตรงสูง การส่งสัญญาณมีพื้นฐานอยู่บนเทคนิคการส่งพัลส์ที่มีความกว้างของพัลส์แคบมากประมาณได้เป็นอิมพัลส์ จึงเป็นที่มาของชื่อแถบกว้างยิ่ง-IR [16]

2.4.3 มาตรฐาน IEEE 802.15.6

มาตรฐาน IEEE 802.15.6 เป็นมาตรฐานที่ตั้งขึ้นมาใหม่สำหรับนำมาประยุกต์ใช้กับ WBAN โดยมีการใช้งานสำคัญคือตรวจสุขภาพร่างกายของผู้ป่วย วินิจฉัยโรค รวมทั้งควบคุมเชื้อโรค WBAN ทำงานบริเวณใกล้กับ ติดอยู่กับ หรือภายในร่างกายของมนุษย์ โดยมีการใช้งานส่งข้อมูลระหว่างโนดภายในร่างกาย และส่งข้อมูลจากร่างกายไปยังอุปกรณ์ การประยุกต์ใช้ทั้งทางการแพทย์หรือด้านอื่น [17]



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง [18]

จากรูปที่ 2.7 แสดงถึงการประยุกต์ใช้ในระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่กำลังได้รับความสนใจ และใช้งานเพื่อเชื่อมต่อและถ่ายโอนข้อมูลในปริมาณมาก ๆ สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสาร 4G (4 Generation) รูปแบบหนึ่งของระบบแถบกว้างยิ่ง ที่ถูกนำมาใช้งาน คืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ไร้สายและใช้ถ่ายโอนข้อมูล ระหว่าง Host และอุปกรณ์ต่อพ่วงที่เกี่ยวข้อง เช่น คีย์บอร์ด เม้าส์ เครื่องพิมพ์ สแกนเนอร์ และอื่น ๆ เป็นต้น ซึ่งต่อไปในอนาคตข้างหน้าเทคโนโลยีระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง จะนำเข้ามาแทนที่เทคโนโลยีระบบการสื่อสารแบบใช้สาย โดยสามารถถ่ายโอนข้อมูลในปริมาณมาก และรองรับผู้ใช้งานได้มาก อีกทั้งยังสามารถส่งข้อมูลที่อัตราความเร็ว 1000 Kbps สำหรับเม้าส์แบบไร้สาย 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 ได้ถูกกำหนดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย 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) สัญญาณที่ไม่ใช่ไซน์ซอoidal (Non-sinusoidal) สัญญาณที่ปราศจากคลื่นพาห้ (Carrier less) แถบกว้างยิ่ง (Super Wideband) การอัดพัลส์แบบเอพเอ็มอย่างรวดเร็ว (Fast Frequency Chirp) และพัลส์แบบโมโน (Mono-pulse) ซึ่งเป็นระบบที่มีจุดเด่นที่น่าสนใจสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบสื่อสารอาทิ เช่น

a. ระบบมีความซับซ้อนน้อยและทำให้มีต้นทุนต่ำ

ความซับซ้อนน้อยและมีต้นทุนที่ต่ำของระบบแถบกว้างยิ่งเกิดขึ้นจากปัจจัยทางลักษณะเบสแบนด์ (Baseband) ของการส่งสัญญาณซึ่งไม่เหมือนกับระบบการส่งสัญญาณวิทยุแบบอื่นๆ โดยที่เครื่องส่งจะทำการสร้างสัญญาณพัลส์ในโดเมนทางเวลาที่มีความกว้างของสัญญาณน้อยมากๆ ซึ่งสามารถที่จะแพร่กระจายคลื่นออกไปโดยปราศจากการเพิ่มความถี่วิทยุหรือคลื่นพาห้รวมเข้าไป และในส่วนของกรรวมสัญญาณวิทยุนั้นจะเป็นการนำเอาสัญญาณเบสแบนด์รวมเข้าไปกับคลื่นพาห้เพื่อย้ายสัญญาณไปยังแถบความถี่ที่มีคุณลักษณะในการแพร่กระจายคลื่นตามต้องการซึ่งสัญญาณจะถูกแพร่กระจายได้ดีโดยไม่ต้องอาศัยการแปลงความถี่ให้สูงขึ้น (Up-conversion) และการเพิ่มกำลังให้สูงขึ้น (Amplification) โดยในการแปลงความถี่ลง (Down-conversion) และตัวผลิตความถี่ (Local oscillator) จึงไม่จำเป็นในเครื่องรับแบบแถบกว้างยิ่งด้วยเช่นกันทำให้ลดความซับซ้อนของระบบและต้นทุนในการผลิตลงไปมาก

b. ระดับของสัญญาณใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวน (Noise)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

c. ความต้านทานต่อคลื่นหลายวิถีและการรบกวนของสัญญาณใกล้เคียง

สำหรับระบบการมอดูเลตทางเวลา (Time modulation) แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะทำการส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงในระดับหลักร้อยเมกะบิตต่อวินาทีอีกทั้งยังได้ถูกประเมินในส่วนของจำนวนของผู้ใช้งานในระบบการสื่อสารแบบคลื่นวิทยุแบบอิมพลัสว่าได้จำนวนที่มากกว่าระบบทั่วไป และเนื่องด้วยมีแบนด์วิดท์ของสัญญาณส่งที่กว้างจึงทำให้ได้รับผลจากคลื่นหลายวิถีอย่างมาก เมื่อระบบมีแบนด์วิดท์ที่กว้างนั้นทำให้เกิดความแตกต่างทางความถี่อย่างมาก ซึ่งเมื่อรวมเข้ากับการส่งสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องจึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งที่มีการมอดูเลตทางเวลานั้นมีความต้านทานต่อการแพร่กระจายของคลื่นหลายวิถีที่รุนแรง และการรบกวนหรือแทรกสอดจากสัญญาณความถี่ใกล้เคียงได้

d. มีความละเอียดสูงในโดเมนเวลาสำหรับการกำหนดตำแหน่งและการประยุกต์ใช้ในระบบติดตาม (Tracking)

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

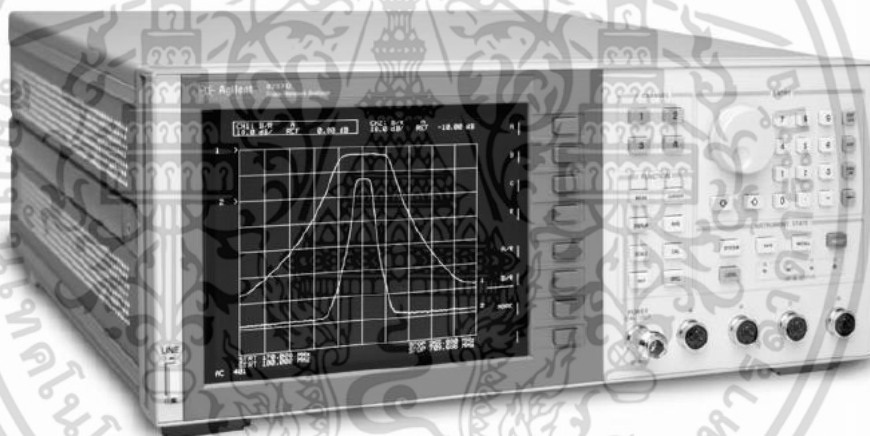
2.6 สรุป

สำหรับบทนี้ได้กล่าวถึงประวัติความเป็นมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ข้อดีและจุดเด่นต่าง ๆ ที่น่าสนใจของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งสำหรับประยุกต์ใช้กับระบบการสื่อสารไร้สาย เช่น ราคาต้นทุนต่ำ มีความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมต่ำ ต้านทานต่อคลื่นหลายวิถี และมีความละเอียดสูงในโดเมนเวลา เป็นต้น โดยที่ FCC ได้กำหนดให้สัญญาณที่ใช้ส่งของระบบแถบกว้างยิ่ง มีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนมากกว่าหรือเท่ากับ 0.2 หรือมีแบนด์วิดท์มากกว่าหรือเท่ากับ 500 MHz นอกจากนี้ยังมี การร่วมมือกันขององค์กรกลุ่มประเทศสหรัฐอเมริกา กลุ่มประเทศในยุโรป และประเทศญี่ปุ่น ออกกฎข้อบังคับเพื่อเป็นหลักฐานในการพิสูจน์ว่าสัญญาณแถบกว้างยิ่ง ที่นำมาใช้งานไม่ไปรบกวนหรือแทรกสอดระบบการสื่อสารแถบแคบอื่น ๆ ในส่วนสุดท้ายของเนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงมาตรฐานของระบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 มาตรฐานด้วยกันดังนี้ มาตรฐาน IEEE 802.15.3a สำหรับอัตราการส่งข้อมูลที่สูง และมาตรฐาน IEEE 802.15.4a สำหรับอัตราการส่งข้อมูลต่ำ

4.2 ขั้นตอนในการเตรียมการทดลอง

4.2.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ รุ่น HP-8510C 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 และทำการวัดในโดเมนความถี่ก่อนที่จะถูกนำผลการวัดไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์เพื่อนำพารามิเตอร์ที่ได้ไปใช้ในการวิเคราะห์ต่อไปดังในบทที่ 5

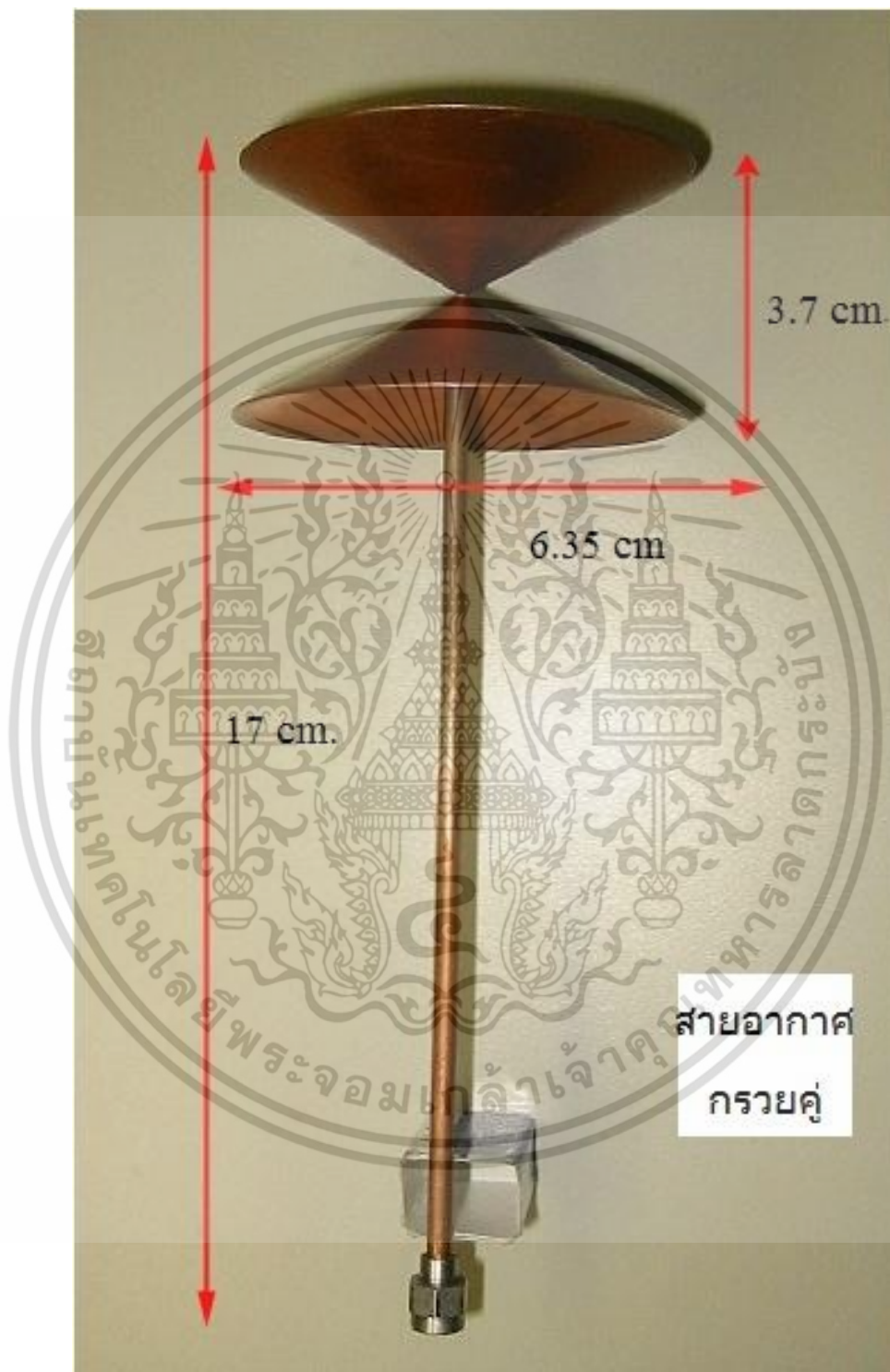


รูปที่ 4.2 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ (Vector Network Analyzer)

4.2.2 สายอากาศแบบกรวยคู่ (Biconical antenna)

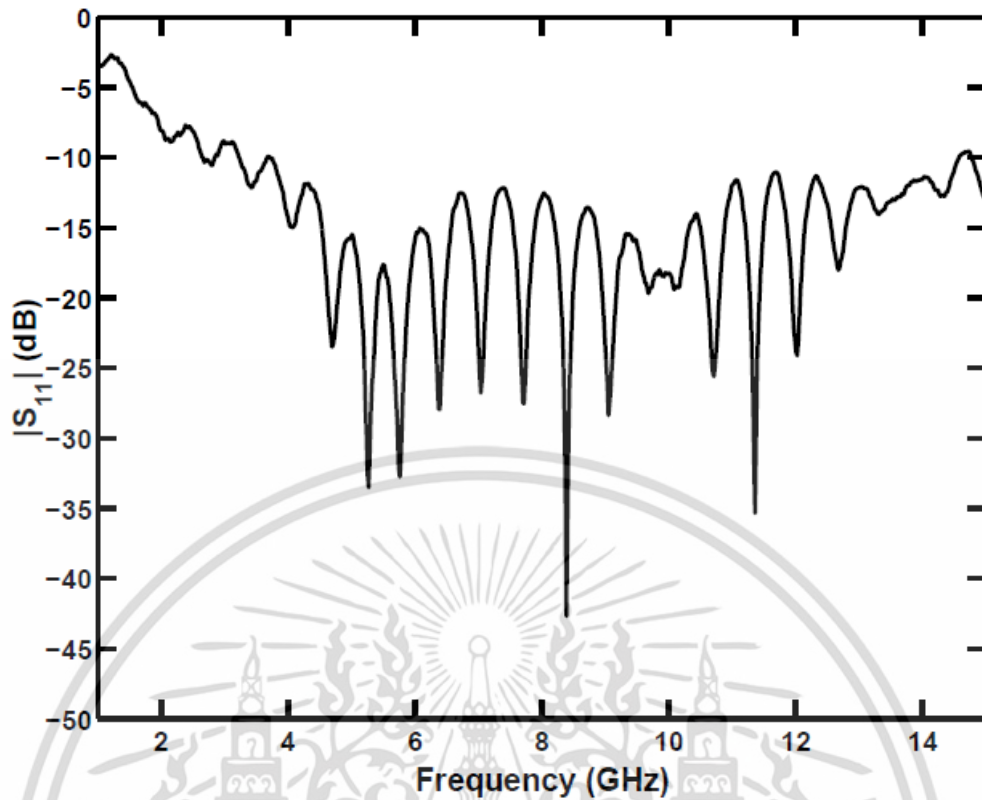
ลักษณะโครงสร้างและขนาดของสายอากาศแสดงดังรูปที่ 4.3 ซึ่งสายอากาศแบบกรวยคู่เป็นสายอากาศที่ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัว โดยกรวยด้านบนของสายอากาศใช้ในการแพร่กระจายคลื่นวิทยุส่วนกรวยด้านล่างจะต่อกับสายดิน ซึ่งลักษณะการป้อนสัญญาณจะเป็นการป้อนสัญญาณเข้ายังส่วนกลางของสายอากาศแล้วแพร่กระจายคลื่นออกรอบทิศทาง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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

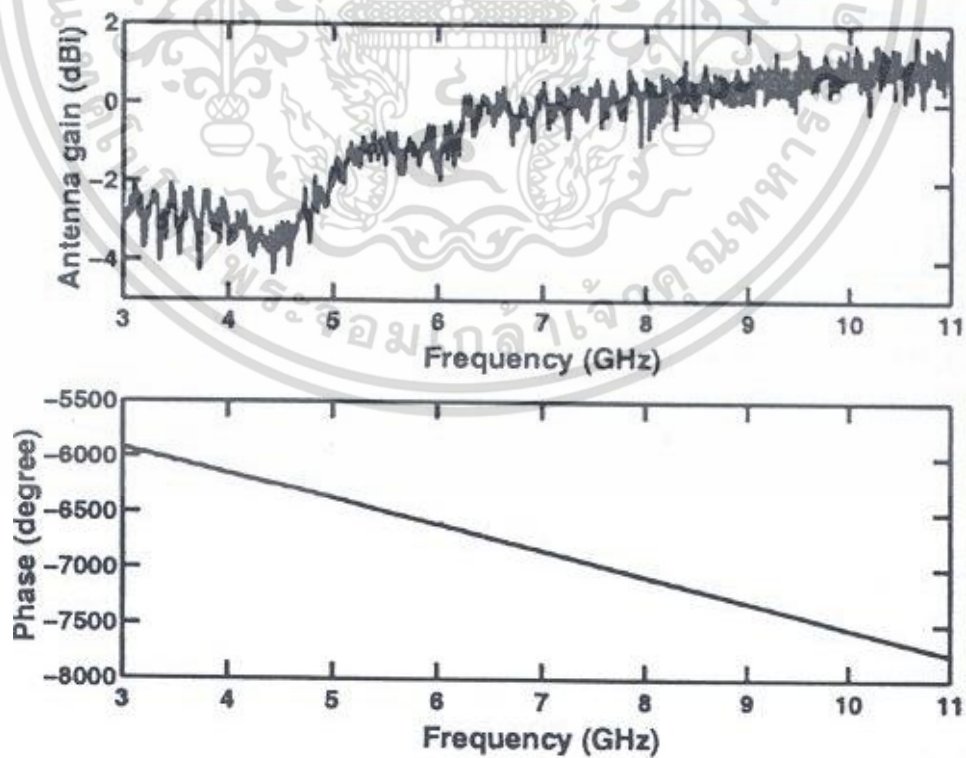


รูปที่ 4.3 โครงสร้างและขนาดของสายอากาศกรวยคู่ที่ใช้ในการทดลองวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (S_{11}) ของสายอากาศแบบกรวยคู่



รูปที่ 4.5 อัตราขยายและเฟสของสายอากาศแบบกรวยคู่

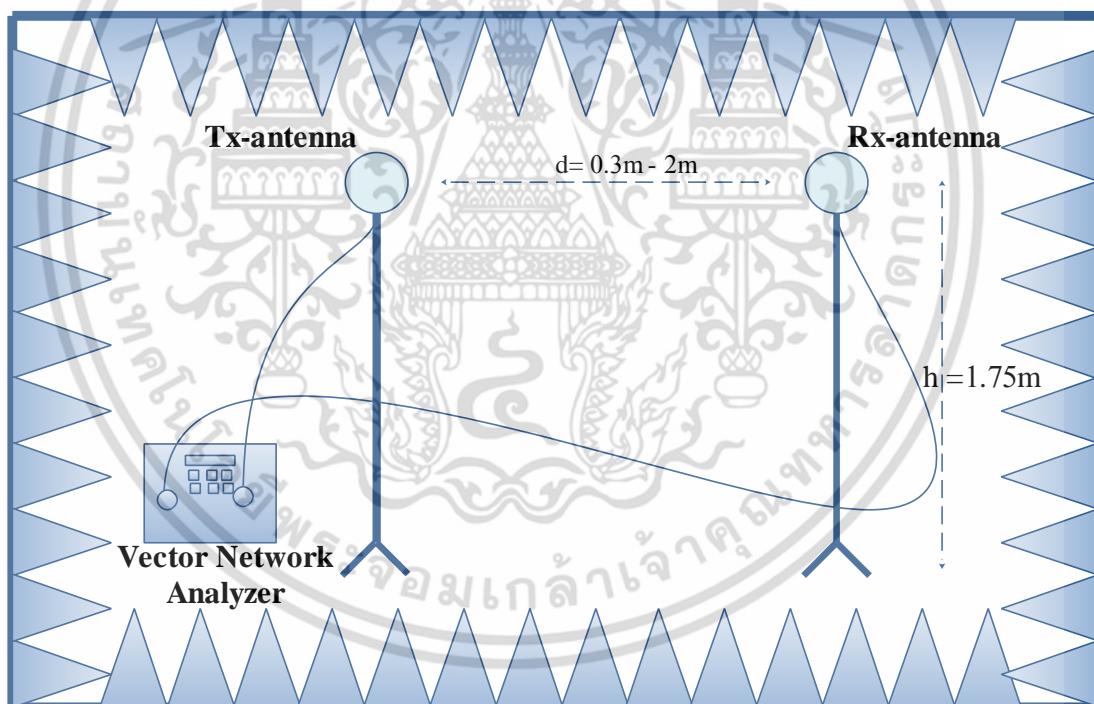
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองได้แสดงให้เห็นในตารางที่ 4.1 ซึ่งได้ใช้ในการทดลองวิจัยนี้

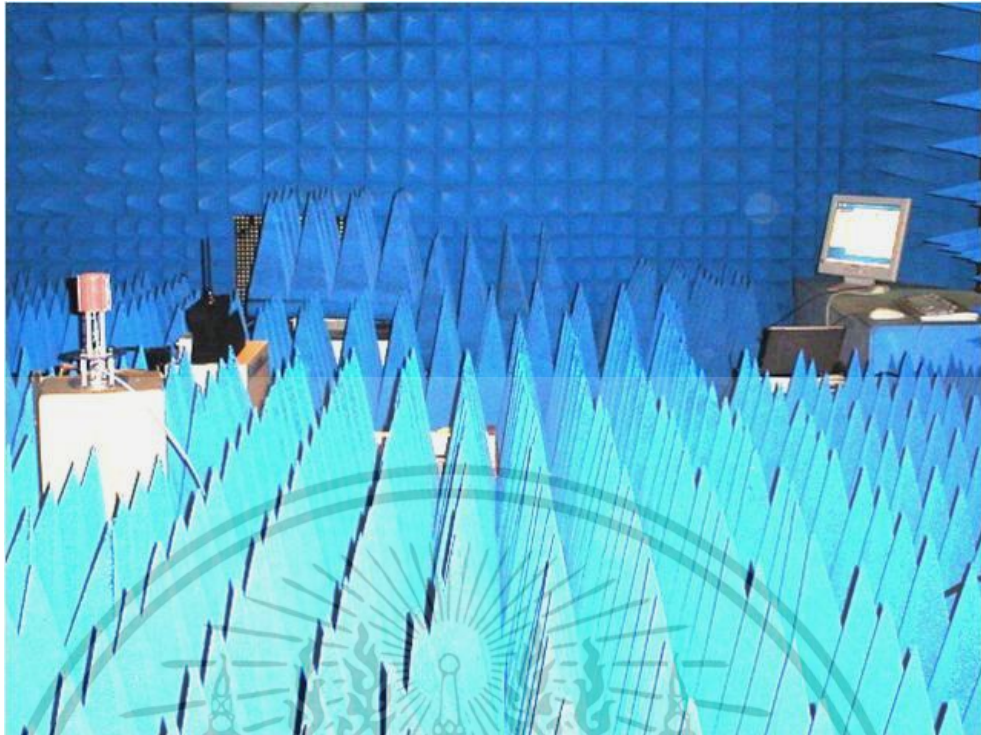
ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์	ค่า
ช่วงความถี่	3 GHz ถึง 11 GHz
จำนวนจุดความถี่	1601 จุด
ความสูงของสายอากาศด้านส่ง	1.75 m
ความสูงของสายอากาศด้านรับ	1.75 m
ชนิดของสายอากาศ	สายอากาศกรวยคู่
การวางสายอากาศ	แนวนอน
ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่ง-รับ	0.3 m., 0.5 m., 1.6 m., 2 m.
การหมุนสายอากาศ	0, 30, 60 องศา

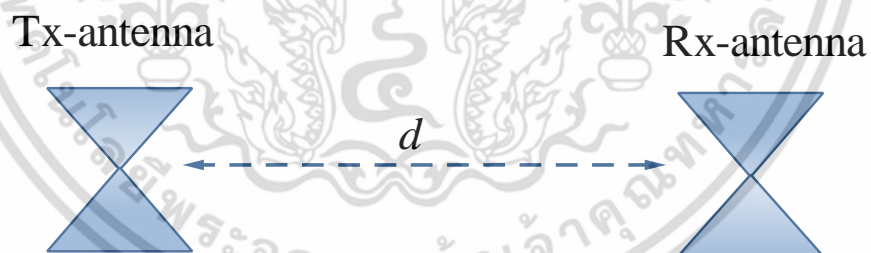


รูปที่ 4.6 แบบจำลองการวัดในห้องไร้การสะท้อนและการติดตั้งอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 การวัดทดสอบวัดและทดลองระบบการสื่อสารไร้สายระยะสั้นด้วยเทคโนโลยี แถบกว้างยิ่ง
สำหรับโครงข่ายไร้สายส่วนบุคคล



รูปที่ 4.8 ลักษณะการวางสายอากาศในมุมมองจากมุมด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 4.2 รายการอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองวัด

รายการอุปกรณ์	จำนวน
เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์	1 เครื่อง
สายอากาศรายคาบล็อก (Log Periodic Dipole Antennas)	2 ตัว
สายอากาศกรวยคู่ (Biconical Antennas)	2 ตัว
ชุดอุปกรณ์ปรับเทียบ (Calibrate Kit)	1 ชุด
อุปกรณ์หมุนสายอากาศ	1 ชุด
สายเคเบิล	2 เส้น
คอนเน็คเตอร์	2 ตัว

4.5 ขั้นตอนและวิธีการในการทดลอง

1. เริ่มทำการติดตั้งสายอากาศตามแบบจำลองการทดลอง โดยแบบจำลองการทดลองแรกเป็นการใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ในการรับ-ส่ง ติดตั้งสายอากาศทั้งสองที่ความสูงเท่ากันคือที่ 1.75 m และมีระยะห่างระหว่างสายอากาศ ตามพารามิเตอร์ที่กำหนดในการทดลองซึ่งเริ่มตั้งแต่ 0.2 เมตร ถึง 2 เมตร

2. ทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ความถี่ที่ 3 GHz ถึง 11 GHz เพื่อให้ครอบคลุมช่วงความถี่ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.3a และตั้งจำนวนจุดความถี่ที่ 1601 จุด

3. ทำการปรับเทียบเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์พอร์ตด้านส่ง ด้วยชุดปรับเทียบซึ่งประกอบไปด้วย open circuit, short circuit และ load

4. จากนั้นทำการปรับเทียบพอร์ตทางด้านรับ เมื่อเสร็จสิ้น จึงนำสายเคเบิลไปต่อกับสายอากาศแล้วการวัด

5. ทำการวัดโดยกำหนดระยะทางที่อยู่ในสนามระยะใกล้ของสายอากาศ ตั้งแต่ 0.2 เมตร จนถึงระยะ สนามระยะใกล้ของสายอากาศแบบกรวยคู่ที่ระยะ 1.6 เมตร ซึ่งได้ทำการทดลองถึงระยะ 2 เมตร

6. แล้วนำผลที่ได้ไปประมวลผลในโปรแกรม Matlab[®] และทำการวิเคราะห์

4.6 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงแบบการวัดทดสอบวัดและทดลองระบบการสื่อสารไร้สายระยะสั้นด้วยเทคโนโลยี แลกกว้างยิ่งสำหรับโครงข่ายไร้สายส่วนบุคคลโดยได้ทดลองในห้องปฏิบัติการสะท้อนโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ในการทดลองวัด ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอสายอากาศที่ใช้คือ สายอากาศแบบกรวยคู่ ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับที่ครอบคลุมย่านความถี่ที่ใช้ในการทดลองของแถบกว้างยิ่ง 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ซึ่งก่อนทำการวัดจะต้องทำการปรับเทียบเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ก่อนทำการวัดจากนั้นทำการติดตั้งและตั้งค่าพารามิเตอร์ตามตารางที่ 4.1แล้วทำการวัดตามกระบวนการในการทดลองตามขั้นตอนที่ 4.5 ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น ซึ่งพารามิเตอร์ที่ได้จะเป็นค่า ฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศในอวกาศว่างแล้วนำผลที่บันทึกในคอมพิวเตอร์ไปทำการประมวลผลด้วยโปรแกรมเพื่อวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการสงวนสิทธิ์ในเอกสารวิชาการเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นชอบนโยบายด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

วิเคราะห์และการประเมินผลช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง

5.1 กล่าวนำ

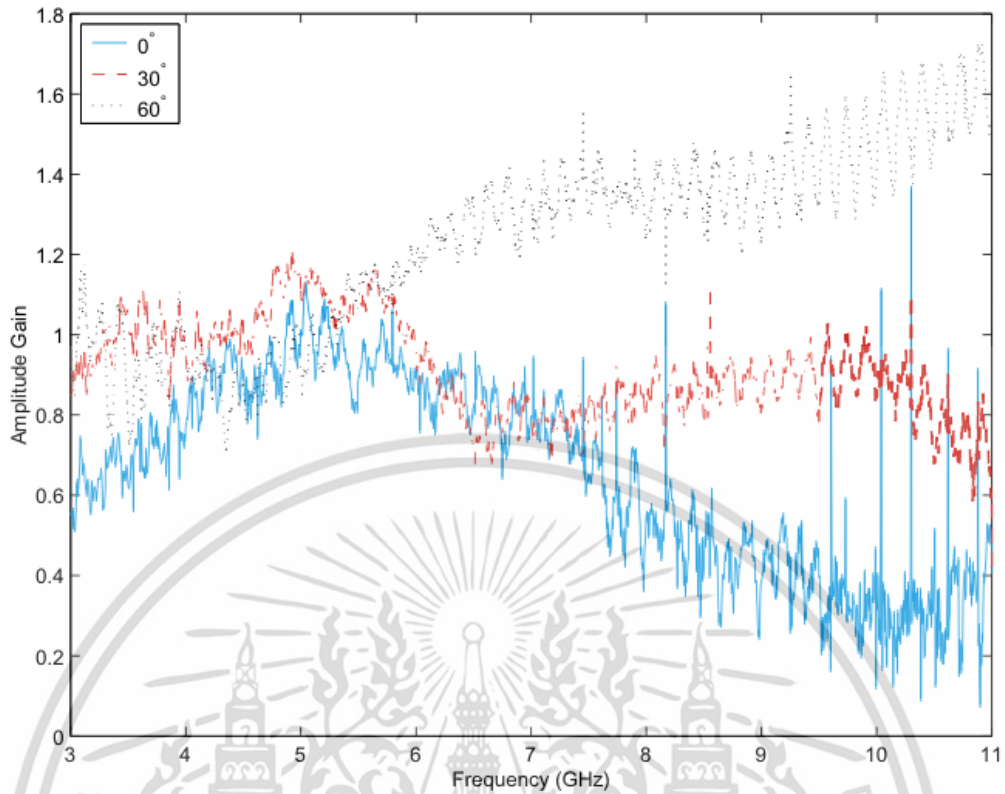
ในระบบแบบแถบกว้างยิ่งสำหรับการสื่อสารระยะสั้นภายในอาคารสำนักงาน และเครือข่ายบ้านพักอาศัย มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทำการศึกษา และวิเคราะห์ประสิทธิภาพของช่องสัญญาณในการส่งผ่านข้อมูลข่าวสาร ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์เพื่อแก้ปัญหาการสื่อสารไร้สายระยะสั้นให้มีคุณภาพดีขึ้น ดังนั้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้ศึกษาวิจัยระบบสื่อสารไร้สายระยะสั้นด้วยเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง สำหรับเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล และเสนอแบบแผนการวิเคราะห์ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์วงจรข่ายแบบเวกเตอร์ในการทดลองวัด และบันทึกผลของฟังก์ชันการถ่ายโอนในอวกาศว่างของช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งผลการศึกษาดทดลองวิจัยได้พิจารณารูปแบบวัด เช่น รูปแบบการวัดของคุณลักษณะฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศ สนามแม่เหล็กไฟฟ้าในระยะใกล้ และสนามแม่เหล็กไฟฟ้าระยะไกล ซึ่งได้แสดงไว้ในบทที่ผ่านมาแล้ว และนำผลที่ได้จากการวัดไปวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่สำคัญบนพื้นฐานสูตรการส่งผ่านของฟรีส (โดยการประยุกต์สูตรของฟรีส) และทางด้านรับได้ใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์สองแบบมาเปรียบเทียบกับระหว่างเครื่องรับแบบสัญญาณที่รับได้ และเครื่องรับแบบไอโซทรอปิก ผลการทดลองวิจัยและผลการวิเคราะห์ฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศ การประวิงกลุ่ม อัตราขยายการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่ง รูปคลื่นสัญญาณที่รับได้ การสูญเสียเชิงวิถีแบบแถบกว้างยิ่ง การผิดเพี้ยนของสัญญาณจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ได้แสดงไว้พร้อมทั้งอธิบายโดยละเอียดในบทนี้แล้ว

5.2 การประเมินผลวิจัยพิสัยระยะสั้น

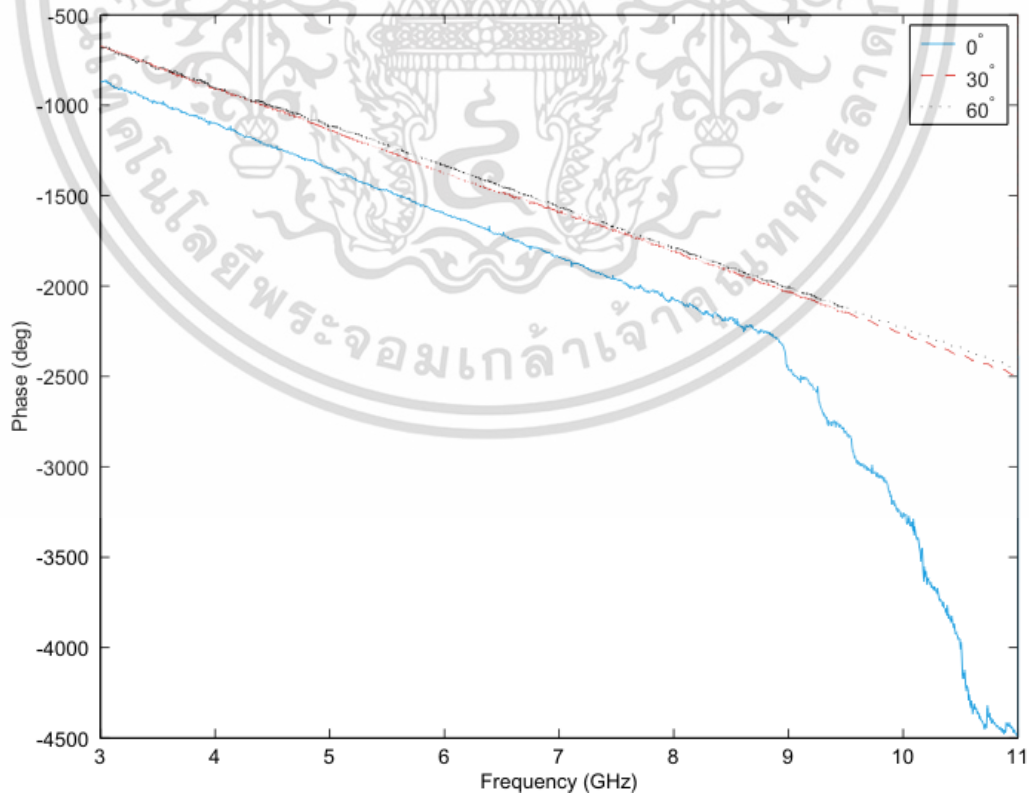
ในการประเมินผลวิจัยพิสัยระยะสั้นนี้จะพิจารณาหลายอย่างด้วยกัน ดังนี้

5.2.1 ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศ

ฟังก์ชันถ่ายโอนของสายอากาศด้านรับและด้านส่ง ประมาณโดยใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนของช่องสัญญาณที่ 1 เมตร โดยสมมติให้สายอากาศเป็นฟังก์ชันถ่ายโอนแบบไอเดนติคอล ขนาดและเฟสของฟังก์ชันถ่ายโอนของสายอากาศแสดงในรูปที่ 5.1 และ 5.2 ตามลำดับ โดยแสดงเปรียบเทียบกัน 3 มุม คือ 0 30 และ 60 องศา เห็นได้ว่าในช่วงความถี่สูงอัตราขยายที่มุม 60 องศาเกิดการแปรปรวนอย่างชัดเจน คือเกิดการกระเพื่อมของสัญญาณอย่างมาก และมีอัตราขยายที่ต่ำ จึงเป็นผลให้เฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนที่มุมและช่วงความถี่ดังกล่าวไม่เป็นเชิงเส้น หรืออาจกล่าวได้ว่าสัญญาณเกิดความผิดเพี้ยนอย่างมากดังรูปที่ 5.2 ส่วนที่มุมอื่นจะเกิดความเปลี่ยนแปลงทางเฟสน้อย



รูปที่ 5.1 ขนาดของฟังก์ชันการโอนของสายอากาศที่มุม 0 30 และ 60 องศา

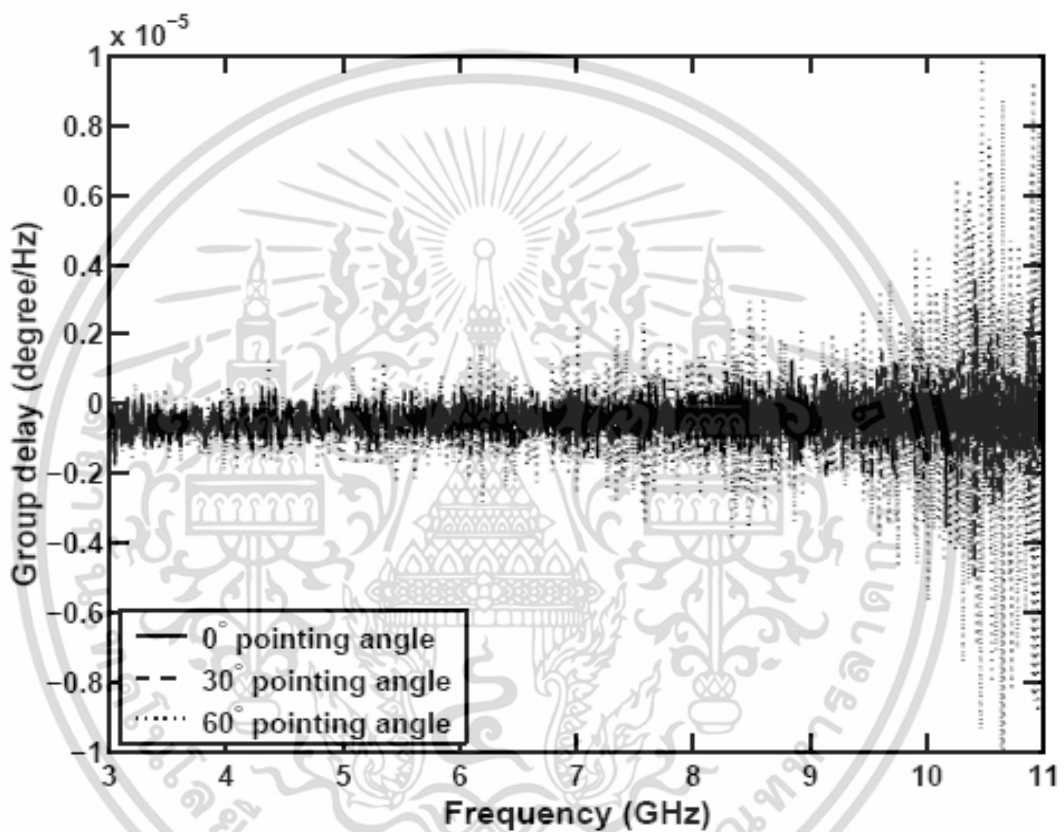


รูปที่ 5.2 เฟสของฟังก์ชันการโอนของสายอากาศที่มุม 0 30 และ 60 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 การประวิงกลุ่ม (Group Delay)

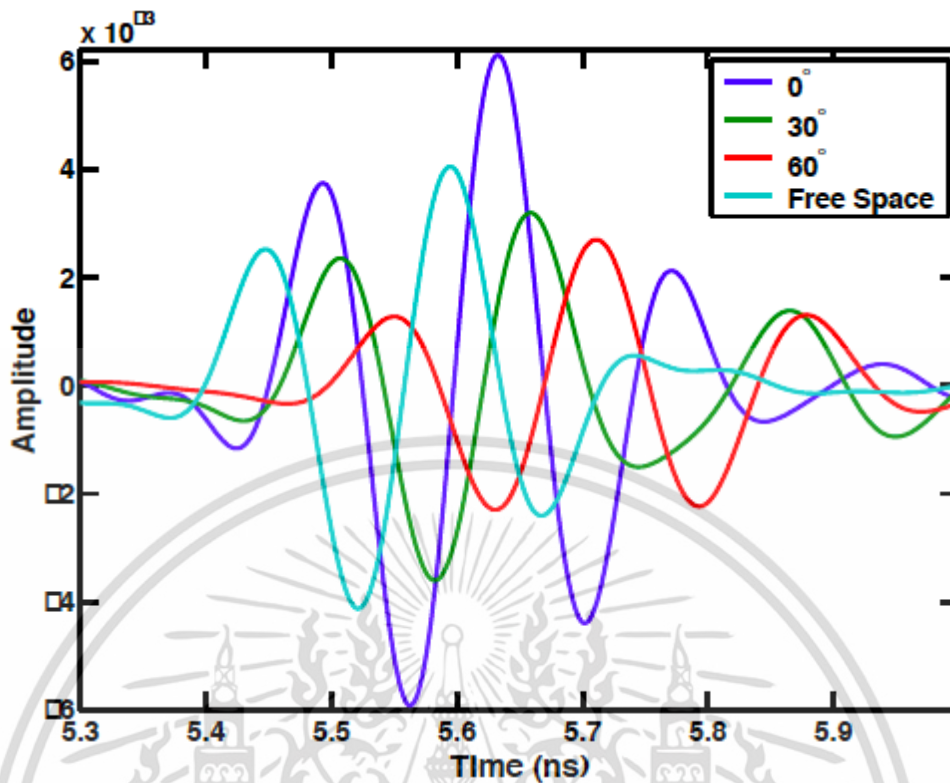
จากรูปที่ 5.3 แสดงถึงการประวิงกลุ่ม ณ ทิศทางที่ 0 องศา 30 องศา และ 60 องศา ของสายอากาศด้านรับ โดยทิศทาง 0 องศา เกิดการประวิงกลุ่ม น้อยมาก เนื่องจากมีความเปลี่ยนแปลงทางเฟสน้อย ในขณะที่ทิศทางที่ 30 องศา ของสายอากาศทางด้านรับ ที่ทำการหมุนสายอากาศสังเกตได้ว่า เฟสเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ส่งผลให้การประวิงกลุ่มมีการกระจายมากขึ้น และทิศทางที่ 60 องศา เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงทางเฟสมากยิ่งขึ้น เนื่องจากสายอากาศส่งและสายอากาศรับอยู่ในลักษณะต่างกัน ส่งผลให้เฟสไม่มีความเป็นเชิงเส้นและการประวิงกลุ่มมีการกระจายที่ช่วงความถี่ 9.5 GHz ถึง 10.8 GHz



รูปที่ 5.3 การประวิงกลุ่มของฟังก์ชันการถ่ายโอนสายอากาศที่มุม 0 30 และ 60 องศา กรณีสายอากาศส่งและรับเป็นสายอากาศแบบกรวยคู่

5.2.3 รูปคลื่นสัญญาณที่รับได้

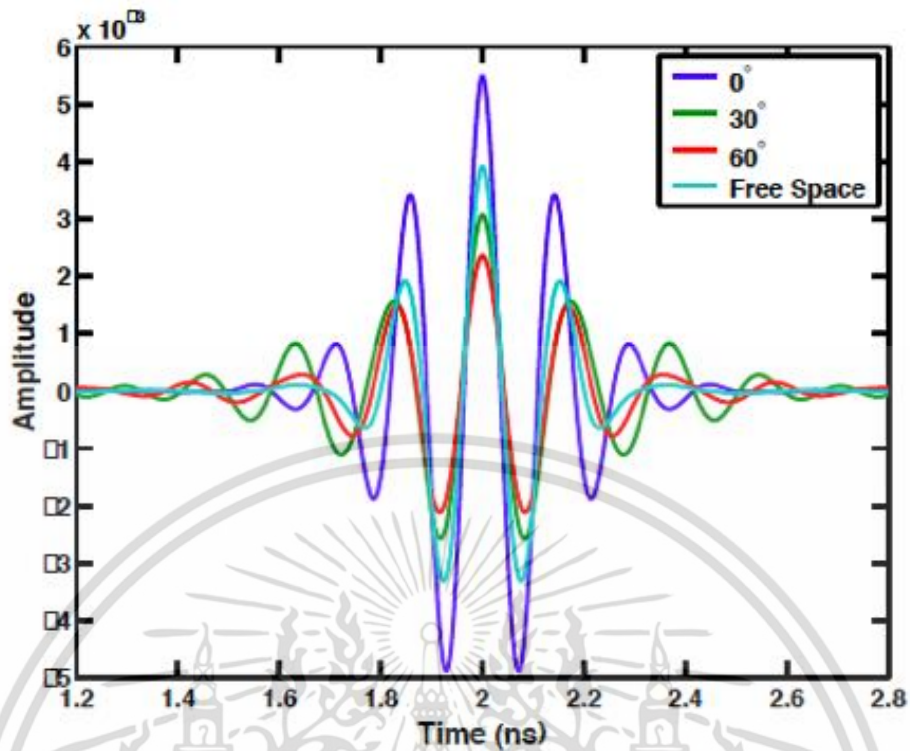
จากรูปที่ 5.4 แสดงรูปคลื่นสัญญาณที่รับได้ที่มุม 0 30 และ 60 องศา เปรียบเทียบกับกรณีอวกาศว่าง ซึ่งเป็นสัญญาณที่ยังไม่ผ่านเครื่องรับสหสัมพันธ์ จะเห็นว่าที่มุม 0 องศา มีแอมพลิจูดสูงกว่ามุมอื่นๆ ส่วนมุมที่มีค่าแอมพลิจูดต่ำสุดอยู่ที่มุม 60 องศา สัญญาณที่รับได้ทุกกรณีนั้นเกิดการผิดเพี้ยน และเกิดการประวิงเวลา ทำให้ยากต่อการวิเคราะห์และพิจารณา ดังนั้นจึงต้องใช้เครื่องรับสหสัมพันธ์ทางด้านรับเพื่อช่วยแก้ปัญหาดังกล่าว ดังจะแสดงผลในหัวข้อถัดไป



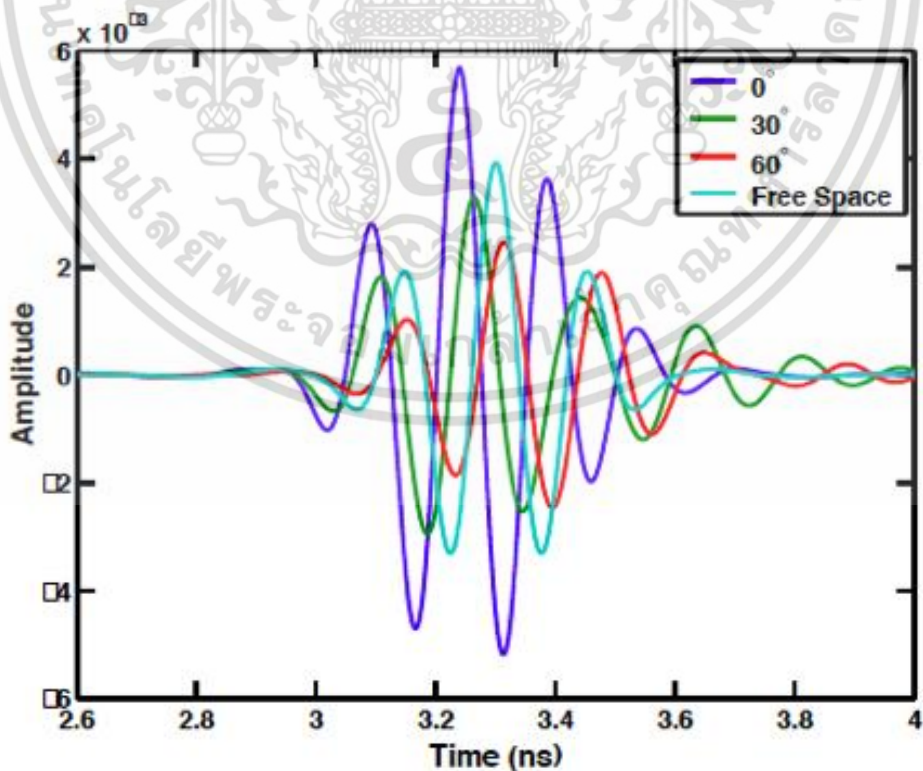
รูปที่ 5.4 รูปคลื่นสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศ

5.2.4 รูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตที่ผ่านเครื่องรับสหสัมพันธ์

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้พิจารณาใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์โดยใช้สัญญาณที่รับได้และสัญญาณไอโซทรอปิกเป็นสัญญาณแม่แบบ สัญญาณที่รับได้เมื่อผ่านเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ในกรณีใช้สัญญาณรับเป็นสัญญาณแม่แบบแสดงดังรูปที่ 5.5 โดยในรูปนี้ได้แสดงผลของแอมพลิจูดของสัญญาณที่มุม 0 30 60 องศา และกรณีฟรีสเปซ (Free space) จะเห็นว่าที่มุม 0 องศา มีค่าแอมพลิจูดเท่ากับ 5.5 mV ซึ่งมีแอมพลิจูดสูงกว่ามุมอื่นๆ ส่วนสัญญาณที่รับได้เมื่อผ่านเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ในกรณีใช้สัญญาณไอโซทรอปิกเป็นสัญญาณแม่แบบแสดงดังรูปที่ 5.6 เพื่อหาสัญญาณที่รับได้มีค่าดีที่สุด จะเห็นว่าที่มุม 0 องศา มีค่าแอมพลิจูดสูงกว่ามุมอื่นๆ เช่นกัน



รูปที่ 5.5 รูปคลื่นสัญญาณที่เอาท์พุทของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ในกรณีใช้สัญญาณรับเป็นสัญญาณแม่แบบ

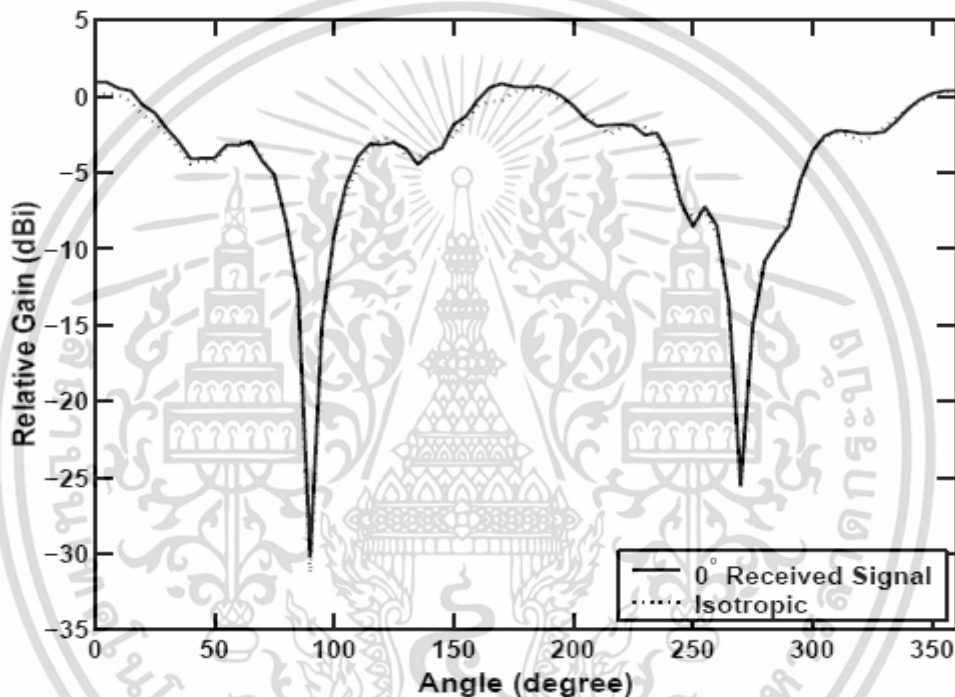


เอกสารนี้เป็นเอกสาร รูปที่ 5.6 รูปคลื่นสัญญาณที่เอาท์พุทของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ในกรณีใช้สัญญาณรับเป็นสัญญาณแม่แบบ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีสิ่งพิมพ์หรือการนำข้อมูลของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.5 อัตราการขยายของการส่งผ่านสัญญาณ

ผลจากการวัดในกรณีที่ทิศทางการส่งผ่านของสายอากาศปรับครึ่งละ 5 องศา จนถึง 360 องศา โดยใช้สายอากาศกรวยคู่ทั้งรับและส่ง ซึ่งผลจะพบว่าค่าอัตราขยายเชิงวิถีจะแปรเปลี่ยนไปตามทิศทางการส่งผ่านโดยจะมีค่าลดลงจากทิศทางการส่งผ่านแบบทิศทางตรงหรือที่ทิศทาง 0 องศา จนถึงทิศทางที่ 30 องศา และหลังจากนั้นจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ จนถึงทิศทาง 60 องศา

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ของอัตราขยายในการส่งผ่านแบบแถบกว้าง โดยใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์สัญญาณที่รับได้และเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ไอโซทรอปิก แล้วเอาทั้งสองกรณีมาเปรียบเทียบกันก็จะเห็นว่า เครื่องรับทั้งสองแบบมีความแตกต่างกันน้อยมาก แสดงว่าเกิดความผิดพลาดของสายอากาศที่ใช้เป็นแพร์คลีนในการส่งผ่านแบบแถบกว้างนั้นต่ำ

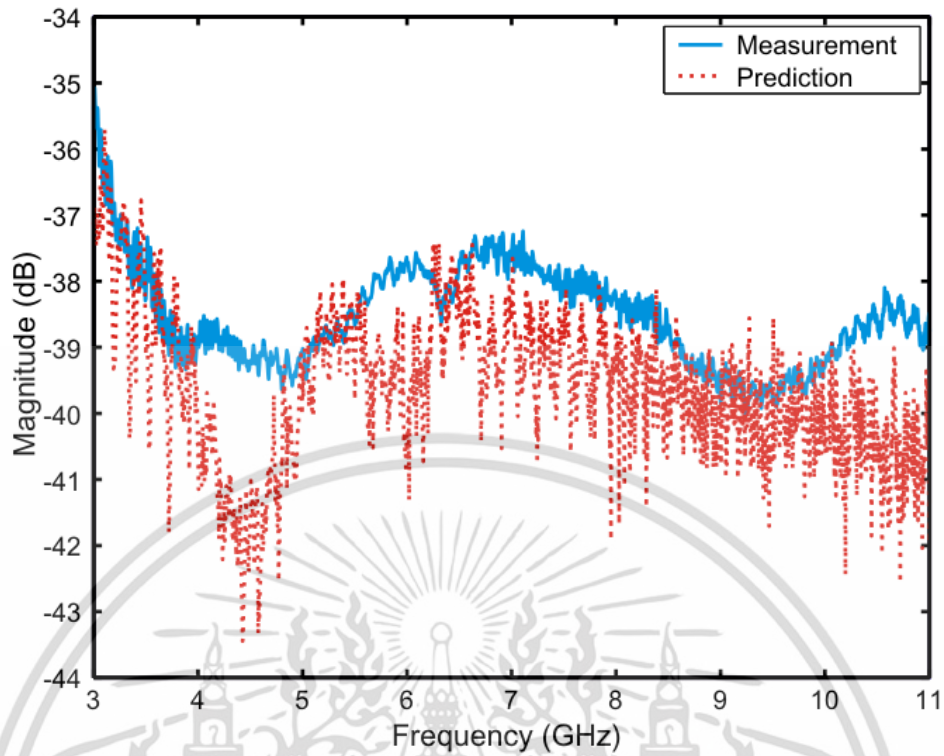


รูปที่ 5.7 ผลการเปรียบเทียบอัตราการขยายของการส่งผ่านสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง จากผลการทดลองวัด เป็นสายอากาศแบบกรวยคู่-สายอากาศแบบกรวยคู่

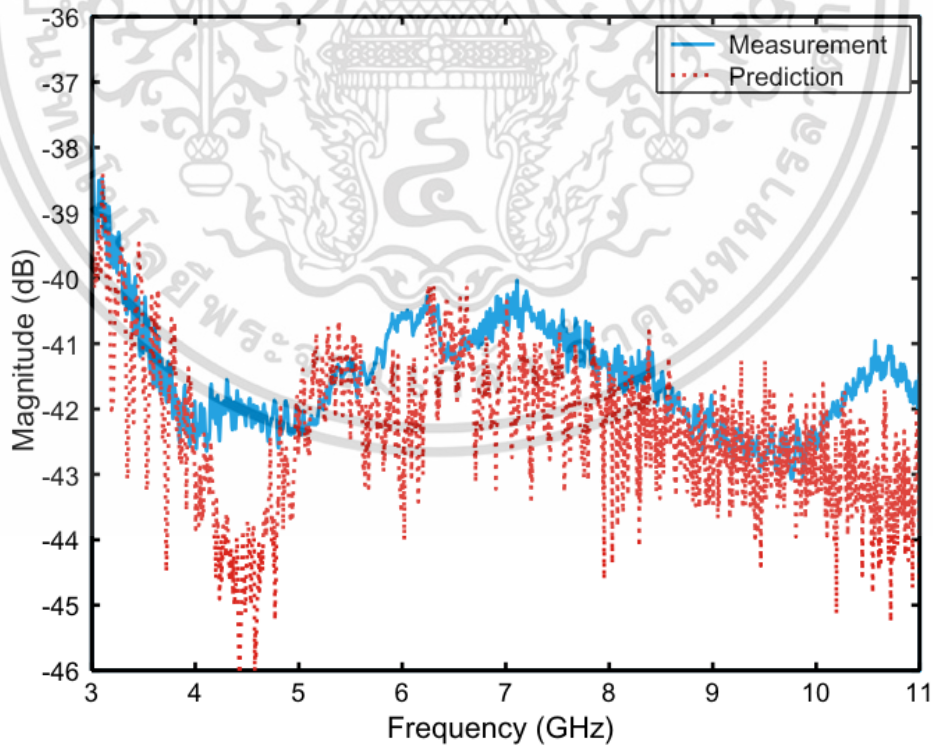
5.2.6 ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศที่ระยะห่าง 0.5 1 1.5 และ 2 เมตร

ในงานวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์ฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณของแบบจำลองนี้โดยทำการวัดขนาดและเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านในแต่ละระยะทางของสายอากาศทางด้านรับ ตั้งแต่ระยะทางที่ 0.5 เมตร ถึง ระยะทางที่ 2 เมตร โดยในรูปที่ 5.8-5.11 แสดงขนาดของฟังก์ชันถ่ายโอนของช่องสัญญาณที่ระยะทางที่ 0.5 - 2 เมตร รูปที่ 5.12 - 5.15 แสดงเฟสของฟังก์ชันถ่ายโอนช่องสัญญาณที่ระยะทาง 0.5 - 2 เมตร และจะสังเกตเห็นได้ว่าลักษณะของเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนจะเรียบทุกระยะ ส่วนขนาดของฟังก์ชันถ่ายโอนจะต่างกันระหว่างบริเวณเฟสเนลและบริเวณสนามระยะไกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

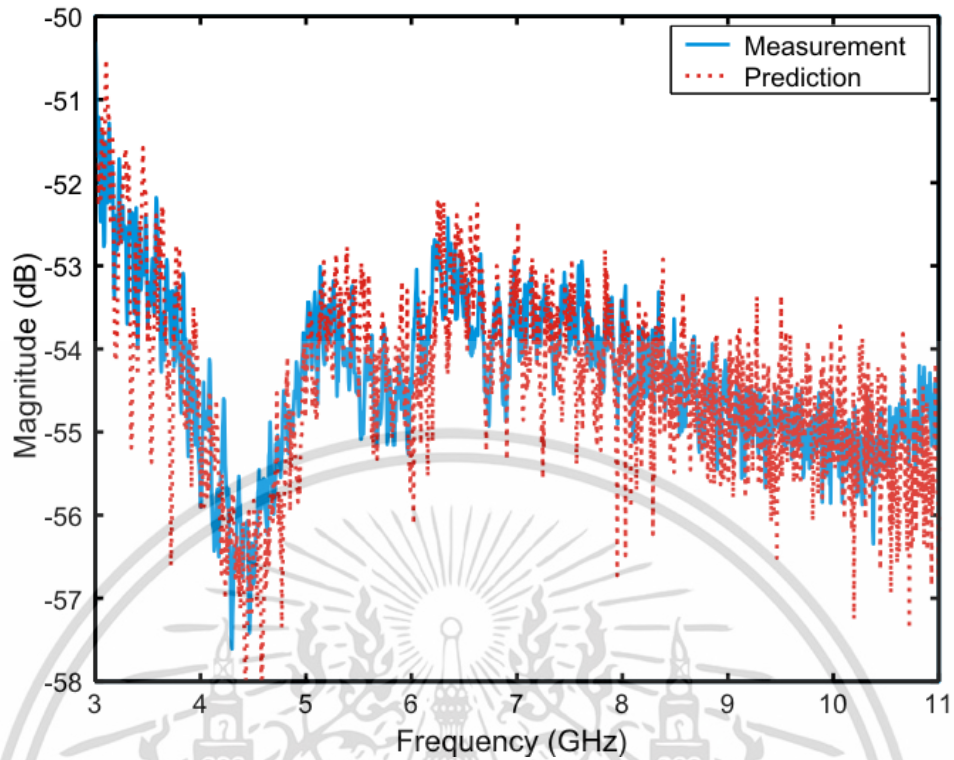


รูปที่ 5.8 ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศที่ระยะ 0.5 เมตร

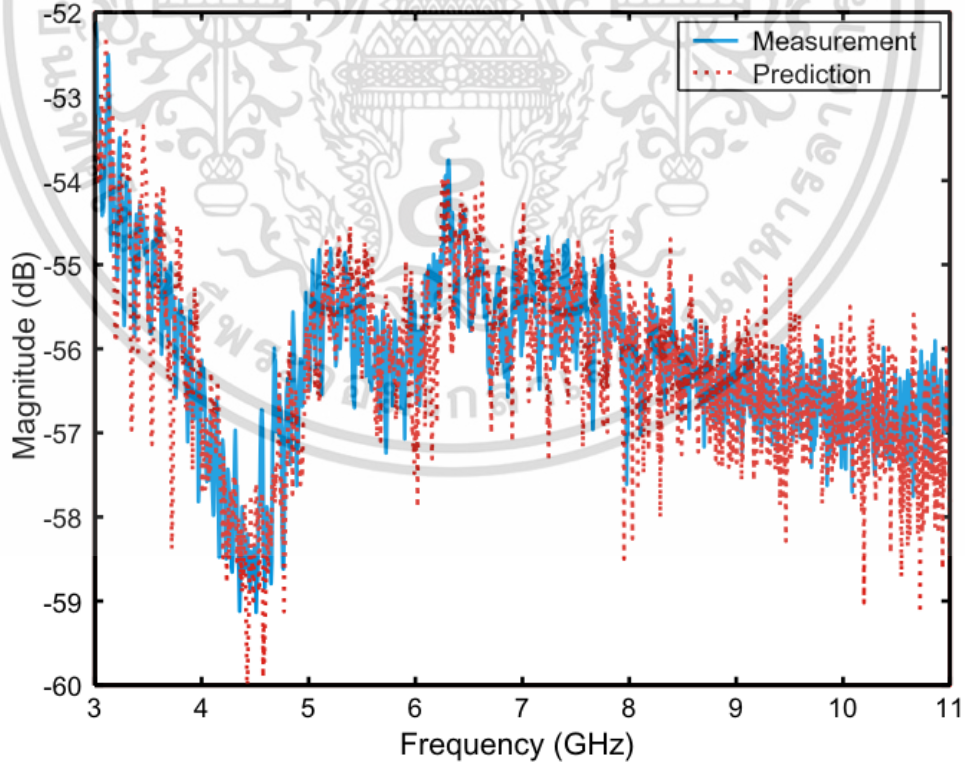


รูปที่ 5.9 ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศที่ระยะ 1 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

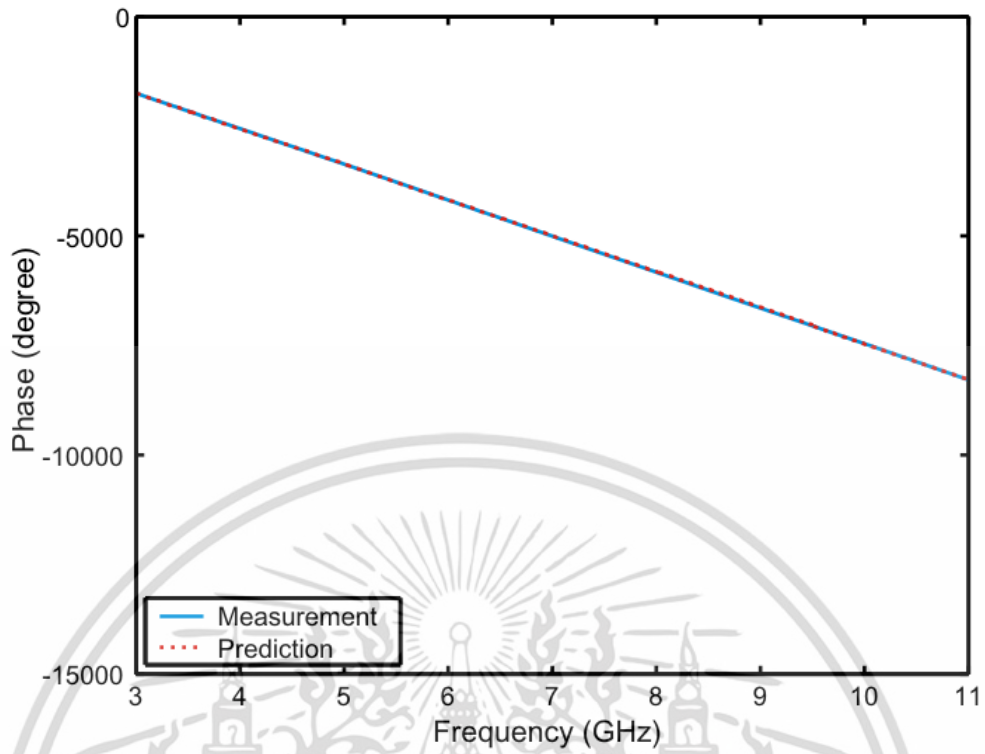


รูปที่ 5.10 ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศที่ระยะ 1.5 เมตร

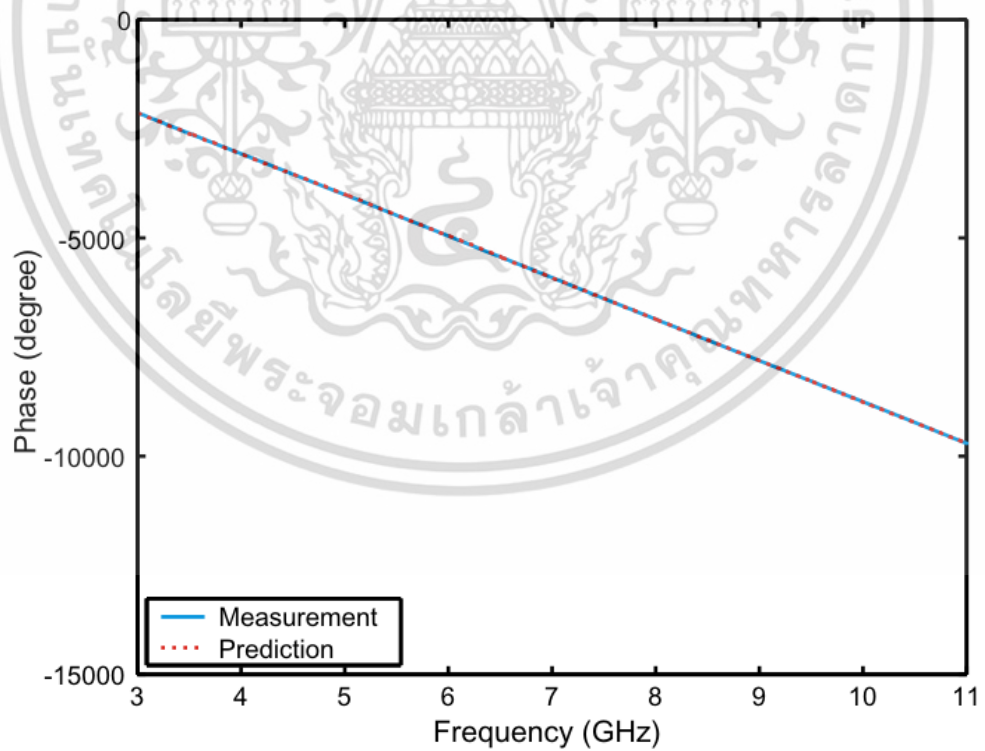


รูปที่ 5.11 ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศที่ระยะ 2 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

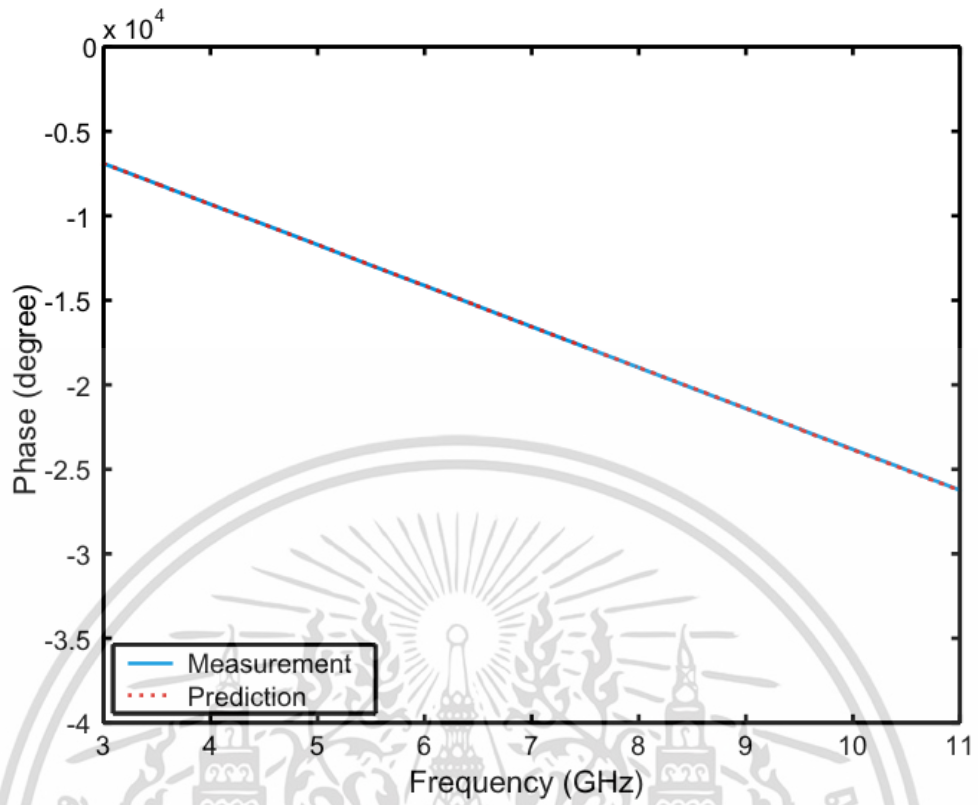


รูปที่ 5.12 เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศที่ระยะ 0.5 เมตร

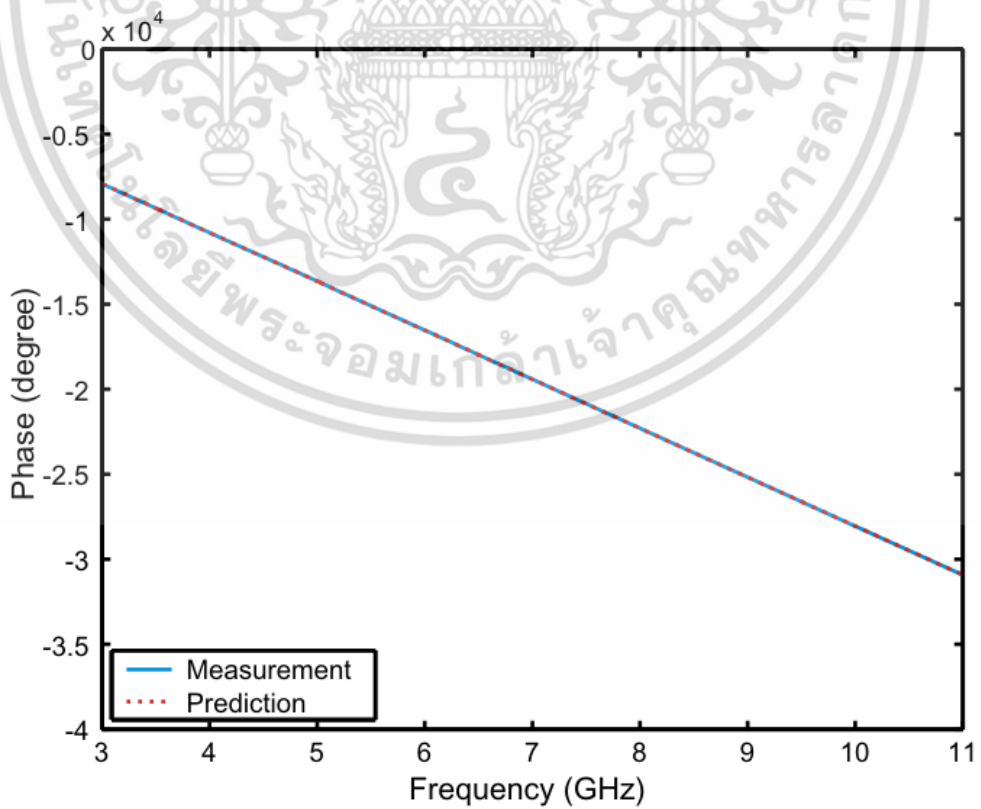


รูปที่ 5.13 เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศที่ระยะ 1 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.14 เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศที่ระยะ 1.5 เมตร



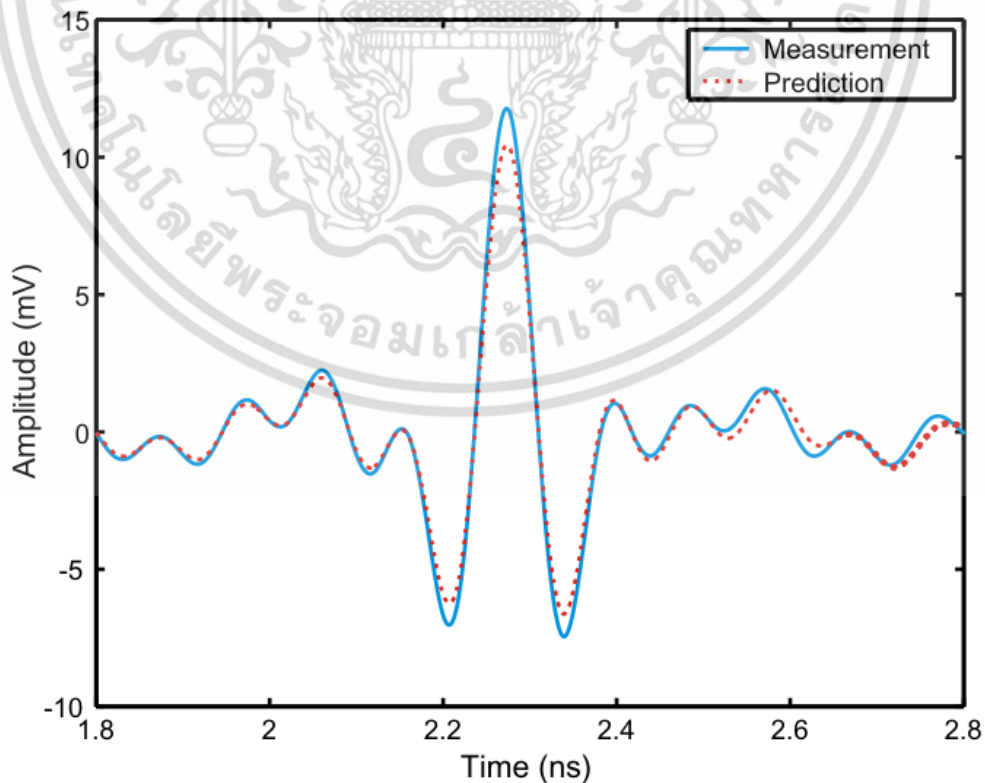
รูปที่ 5.15 เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศที่ระยะ 2.0 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นว่าเป็นประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

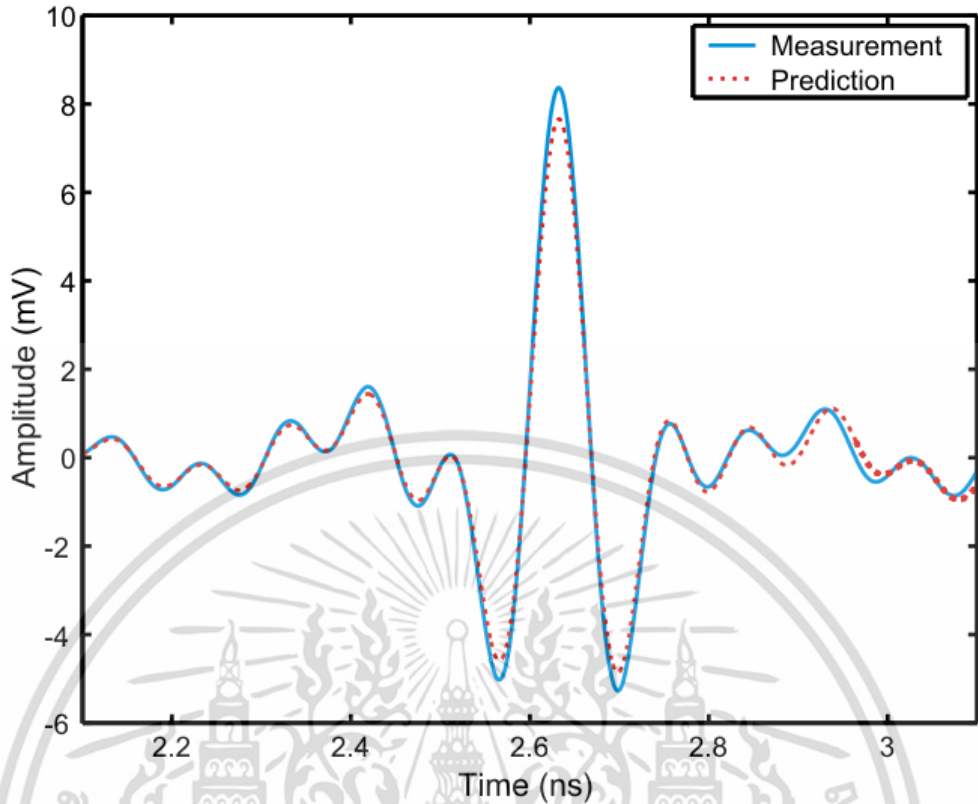
ผลของทั้งสองบริเวณเกือบจะเหมือนกันในบริเวณสนามระยะไกล แต่เป็นที่น่าสังเกตได้ว่า ในบริเวณเฟรสนลจะมีขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนที่ต่างกัน เราสามารถเห็นได้ชัดว่าในบริเวณเฟรสนล ผลการวัดขนาดที่ออกมาจะดีกว่าผลของการคาดคะเน ทั้งนี้เนื่องจากรัศมีของสนามในบริเวณเฟรสนลเกิดการรบกวนกันของสนามแม่เหล็ก ซึ่งในบริเวณสนามระยะไกลนี้จะมีกำลังงานสูง ส่วนในบริเวณสนามระยะไกลรัศมีของสนามสามารถละลายได้

5.2.7 รูปคลื่นสัญญาณพัลส์ที่ด้านรับที่ระยะ 0.5 1 1.5 และ 2.0 เมตร

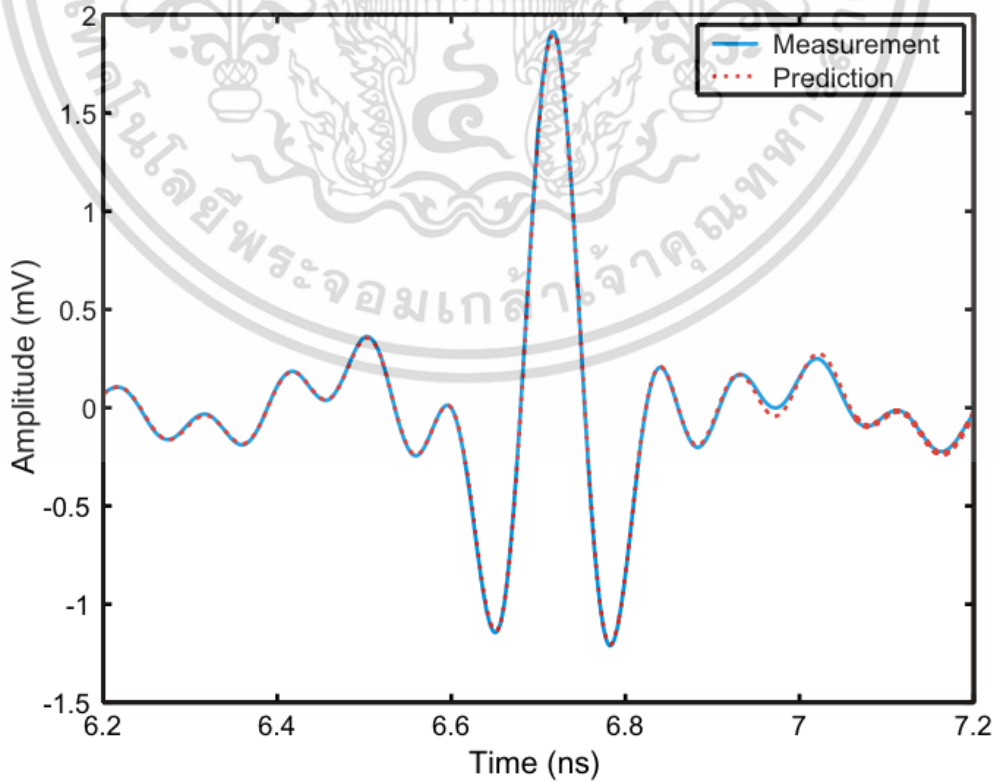
จากรูปที่ 5.16–5.19 แสดงถึงคลื่นสัญญาณด้านรับจากช่องสัญญาณของสายอากาศด้านรับ และส่งที่มีความสูงเท่ากับ 1.75 เมตร ที่ระยะ 0.5 1 1.5 และ 2 เมตร โดยในรูปที่ 5.15 เป็นสัญญาณที่รับได้ที่ระยะ 0.3 เมตร ค่าที่ได้จากการวัดจริง จะมีลักษณะรูปคลื่นที่มีระดับของสัญญาณที่สูงที่สุดที่เวลา 2.3 ns มีค่าแอมพลิจูดเท่ากับ 12 mV เพราะเป็นระยะทางที่สายอากาศสามารถรับสัญญาณได้ดีที่สุด ส่วนในระยะอื่น ๆ ที่ทำการปรับระยะทางทำให้สายอากาศทางด้านรับนั้นได้เปลี่ยนทิศทางไป จึงทำให้ขนาดของยอดคลื่นและระดับของสัญญาณจะลดลงตามระยะในการรับสัญญาณของสายอากาศ ส่วนในรูปที่ 5.18 แสดงถึงคลื่นสัญญาณด้านรับจากช่องสัญญาณของสายอากาศด้านรับ และส่งที่มีความสูงเท่ากับ 1.75 เมตร ที่ระยะ 2 เมตร ซึ่งจะพบว่าค่าที่ได้จากการวัดจริง จะมีลักษณะรูปคลื่นที่มีระดับของสัญญาณที่สูงที่สุดในระดับเดียวกันกับการทำนายที่เวลา 8 ns มีค่าแอมพลิจูดเท่ากับ 1.5 mV ดังนั้น เมื่อเปรียบเทียบกันสองกรณีทั้งการวัดและการคาดคะเน จะพบว่าที่บริเวณเฟรสนลหรือที่ระยะ 0.5 และ 1 เมตรจะมีความแตกต่างกันเล็กน้อย ส่วนในบริเวณสนามระยะไกลรูปคลื่นของการรับมีลักษณะเหมือนกันเกือบหมด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ **รูปที่ 5.16** รูปแบบสัญญาณด้านรับในการวัดเปรียบเทียบกับการทำนายโดยสัญญาณด้านรับที่ระยะ 0.5 เมตร ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่ลงนิตยสารหรือสิ่งพิมพ์ใดๆ ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

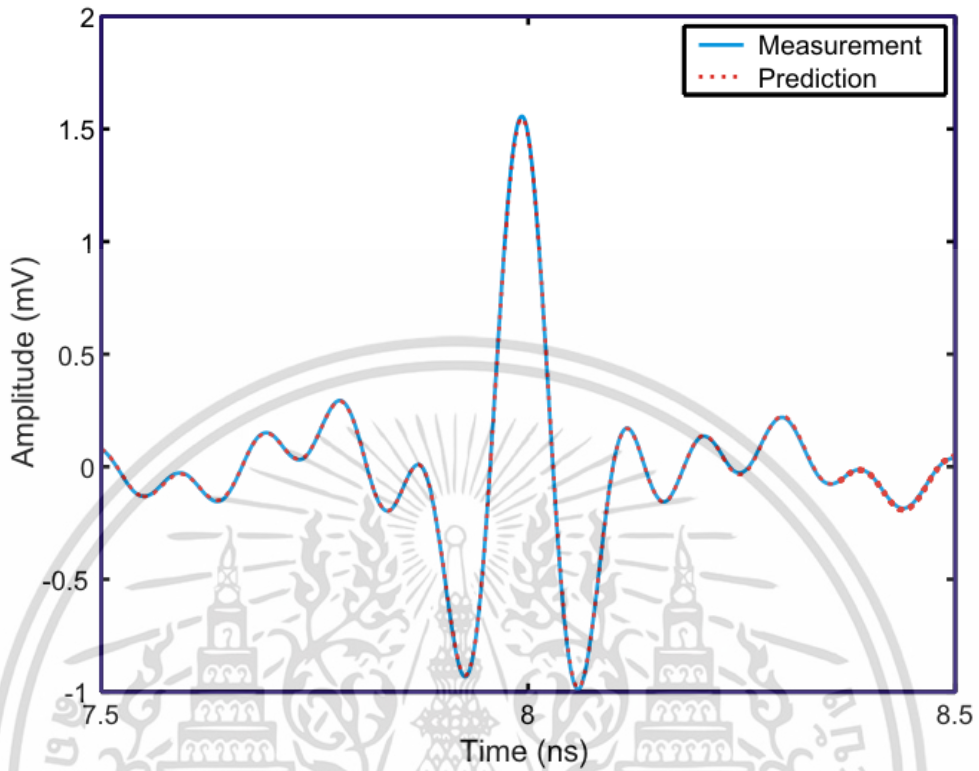


รูปที่ 5.17 รูปแบบสัญญาณด้านรับในการวัดเปรียบเทียบกับการทำนายที่ระยะทาง 1 เมตร



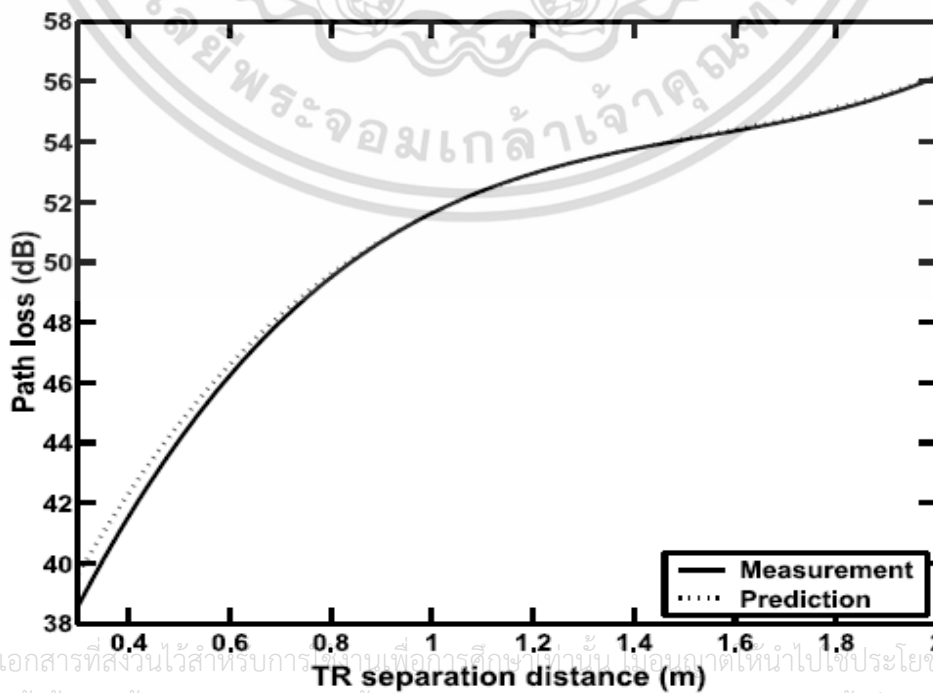
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 5.18 รูปแบบสัญญาณด้านรับในการวัดเปรียบเทียบกับการทำนาย
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ระยะทาง 1.5 เมตร



รูปที่ 5.19 รูปแบบสัญญาณด้านรับในการวัดเปรียบเทียบกับการทำนายที่ระยะทาง 2 เมตร

5.2.8 ค่าสูญเสียเชิงวิถีแบบแถบกว้างยิ่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น โปรดอย่าเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

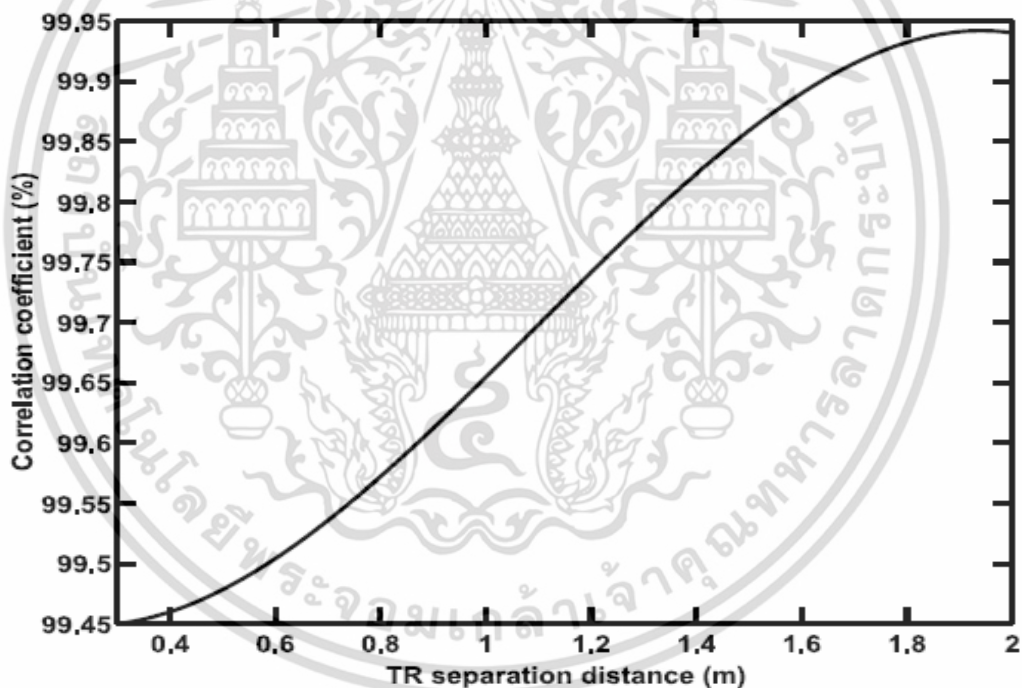
รูปที่ 5.20 การสูญเสียกำลังงานของสัญญาณในระยะทางต่างๆ

อัตราการสูญเสียเชิงวิถี จากรูปที่ 5.20 แสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะทางไกลขึ้น อัตราการสูญเสียเชิงวิถีก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าจุดที่มีอัตราสูญเสียเชิงวิถีน้อยที่สุดจะอยู่ที่ระยะทาง 0.5 เมตร ซึ่งสามารถแสดงค่าการสูญเสียเชิงวิถีที่ระยะที่ได้ทำการวิจัย

ผลสรุปของรูปที่ 5.20 โดยพิจารณาค่าสูญเสียวิถี (path loss) สิ่งที่ได้จากรูป คือความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดของอัตราขยายวิถี (path gain) ในบริเวณเฟรสเนล เนื่องจากเป็นบริเวณสนามระยะใกล้ จะเกิดการรบกวนกันของสนามแม่เหล็กสูง

5.2.9 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ความผิดพลาดของรูปคลื่นแถบกว้างยิ่ง จะพิจารณาโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ซึ่งรูปที่ 5.20 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ จากรูปจะเห็นว่าที่ระยะ 2 เมตร มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ที่ 99.94% และจะมีค่าเพิ่มขึ้นไปตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น และแสดงเปอร์เซ็นต์ของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของรูปคลื่นแถบกว้างยิ่งตามระยะที่ได้ทำการวิจัยดังตารางที่ 5.2



รูปที่ 5.21 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่ง

5.3 บทสรุป

สำหรับบทนี้ได้แสดงผลของการทดลองวิจัยที่ได้จากการวัดสัญญาณ โดยการวัดสัญญาณนั้นได้ทำภายในอาคารซึ่งได้ใช้แบบจำลองในการวัดตามที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 4 ซึ่งจะใช้เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่ายแบบเวกเตอร์ ทำการวัดค่า S_{21} และนำมาวิเคราะห์บนพื้นฐานสูตรการส่งผ่านของฟรีส (โดยการประยุกต์สูตรของฟรีส) และทางด้านรับได้ใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์สองแบบมาเปรียบเทียบกับระหว่างเครื่องรับแบบสัญญาณที่รับได้ และเครื่องรับแบบไอโซทรอปิก ผลการทดลองวิจัยและผลการวิเคราะห์ของการสูญเสียเชิงวิถีแบบแถบกว้างยิ่ง ฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศ อัตราขยายการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่ง การประวิงกลุ่ม และรูปคลื่นสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศและเครื่องรับสหสัมพันธ์ ซึ่งผลทั้งหมดนี้ทำให้ทราบว่าระยะทางในการรับส่งสัญญาณมีผลกระทบต่อระบบการแพร่กระจายคลื่นโดยเฉพาะอย่างยิ่ง บริเวณเฟสเนล จากผลการวิเคราะห์นี้ได้ศึกษาหาคุณลักษณะของช่องสัญญาณและความผิดเพี้ยนที่เกิดจากบริเวณเฟสเนลและบริเวณสนามระยะไกล สำหรับช่องสัญญาณแบบไร้สายระยะสั้น ซึ่งมีข้อดีในการนำมาปรับปรุงประสิทธิภาพ และการปฏิบัติงานของเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งให้มีขีดความสามารถที่สูงขึ้น สุดท้ายการศึกษาาระบบสื่อสารไร้สายระยะสั้นด้วยเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งสำหรับช่องสัญญาณแบบไร้สายระยะสั้น

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 กล่าวนำ

สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอแบบแผนการประเมินสมรรถนะของสายอากาศแถบกว้าง สำหรับระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง ในขบวนการวิเคราะห์ที่ศึกษาวิจัยความผิดเพี้ยนและความแม่นยำ การถ่ายโอนแถบกว้างยิ่งในอวกาศว่างโดยพิจารณาสนามระยะใกล้และสนามระยะไกล อันเนื่องมาจากสายอากาศที่มีขนาดใหญ่ และเป็นสายอากาศแถบกว้าง ในศึกษาได้พิจารณาคุณลักษณะ ช่องสัญญาณการถ่ายโอนในอวกาศว่างบนพื้นฐานสูตรการส่งผ่านของฟรีส ซึ่งประกอบไปด้วยการแผ่กระจายคลื่นสายอากาศ, การแพร่กระจายคลื่นในอวกาศว่าง, รูปคลื่นสัญญาณส่ง และเครื่องรับสัญญาณแบบสหสัมพันธ์ สำหรับการทดลองวิจัยได้พิจารณาใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ และใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ในการประเมินผลการวัดช่องสัญญาณการถ่ายโอนแถบกว้างยิ่งในช่วงย่านความถี่ 3 GHz ถึง 11 GHz ที่ครอบคลุมแถบความถี่ของ FCC คือ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ทำการทดลองวัดในห้องไร้การสะท้อน

6.2 ผลการทดลองวิจัยในสนามระยะใกล้และสนามระยะไกลแถบกว้างยิ่ง

จากการทดลองผลวิจัยเห็นได้ว่าผลการทดลองที่ได้ทำวัดและทดสอบนั้นแสดงไว้ในบทที่ 4 และในบทที่ 5 สามารถสรุปโดยรวมดังนี้

ฟังก์ชันถ่ายโอนของสายอากาศด้านรับและด้านส่งได้สมมติให้สายอากาศมีคุณสมบัติเหมือนกันหรือไอเดนติคัล โดยพิจารณาทางขนาดและเฟสของฟังก์ชันถ่ายโอนของสายอากาศที่มีมุมเดียวกัน สำหรับการวัดฟังก์ชันถ่ายโอนโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ทำการทดลองวัดและบันทึกผลที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและรับ 0.5, 1, 1.5 และ 2.0 เมตร นำผลที่ได้จากการวัดมาประเมินผลด้วยสูตรการส่งผ่านของฟรีส โดยที่บริเวณสนามไกล (ที่ระยะ 1.5 เมตร และ 2 เมตร) มีขนาดที่แตกต่างกับในบริเวณเฟรสเนลโซนหรือสนามระยะใกล้ (ที่ระยะ 0.5 เมตร และ 1) สามารถเห็นได้จากผลลัพธ์ในบริเวณเฟรสเนลโซนมีขนาดสูงกว่าตามที่ได้ทำนายเอาไว้แต่มีความต่างกันมากกว่าเมื่อเทียบกับสนามระยะไกล สาเหตุเนื่องจากอยู่ในรัศมีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหรือในบริเวณเฟรสเนลโซน แต่ผลการวัดมีความแตกต่างจากได้จากการคำนวณโดยใช้สูตรการส่งผ่านของฟรีสที่มีความซับซ้อนและฟังก์ชันถ่ายโอนของสายอากาศ จะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างเพียงเล็กน้อยระหว่างค่าที่ได้กับค่าที่คำนวณในบริเวณเฟรสเนล ส่วนในบริเวณสนามไกลรูปคลื่นทางด้านรับแทบจะมีค่าเท่ากัน

การสูญเสียเชิงวิธีสามารถสรุปดังตารางที่ 6.1 ความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดเห็นว่าในสนามระยะใกล้หรือบริเวณเฟรสเนลมีความแรงกำลังงานและมีสัญญาณรบกวนที่สูงกว่าสนามระยะไกล

และในตารางที่ 6.2 สรุปสัญญาณรูปคลื่นที่รับได้ โดยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างสองรูปคลื่นที่ได้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวัดได้และที่ได้การคำนวณ ด้วยการประยุกต์ใช้ของสูตรการส่งผ่านแบบฟรีสที่มีความซับซ้อนในบริเวณเฟรสนเนลหรือสนามระยะใกล้มีความเพี้ยนมากกว่าสนามระยะไกล ดังนั้นจากการศึกษาทดลองวิจัย การออกแบบจำลองช่องสัญญาณในอวกาศว่างของย่านแถบกว้างยิ่ง ความเพี้ยนของอัตราสูญเสียวิถีที่พบในบริเวณเฟรสนเนลเป็นผลมาจากสนามในรัศมีเช่นกัน

ตารางที่ 6.1: ค่าสูญเสียวิถีของรูปคลื่นแถบกว้างยิ่งด้านรับ

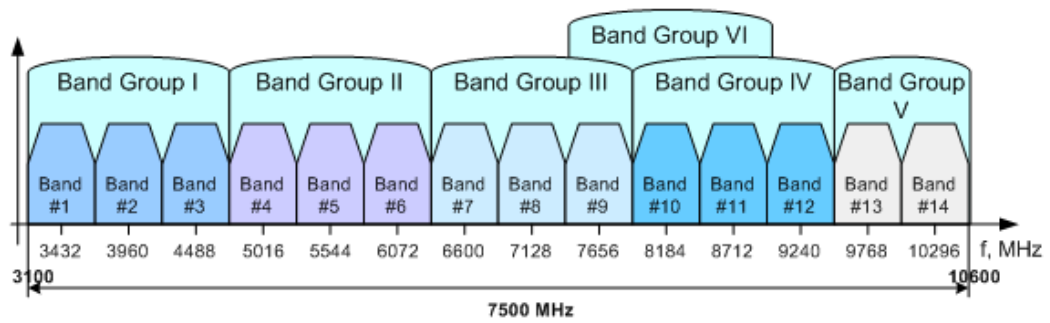
	Path loss			
	0.5 m (dB)	1 m (dB)	1.5 m (dB)	2.0 m (dB)
Measured	38.58	41.55	54.36	56.16
Prediction	39.63	42.32	54.42	56.20

ตารางที่ 6.2: เปอร์เซนต์ของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ซึ่งรูปคลื่นแถบกว้างยิ่งด้านรับ

	Correlation coefficient			
	0.5 m (%)	1 m (%)	1.5 m (%)	2.0 m (%)
Prediction	99.45	99.46	99.89	99.94

6.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการวิจัยพัฒนา

การศึกษาวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้ได้พิจารณาสายอากาศแถบกว้างที่ใช้อยู่เพียงชนิดเดียว ยังมีสายอากาศอีกหลายชนิดที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานกับเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง ซึ่งควรพิจารณาเพื่อดูความเหมาะสมในการใช้งาน และปัจจุบันแถบความถี่ของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งยังได้ถูกกำหนดมาตรฐานใหม่เป็นมัลติแบนด์ โอเอพดีเอ็ม (Multiband-Orthogonal Frequency Division Multiplexing: MB-OFDM) ซึ่งมีช่วงความถี่หลายแถบความถี่ ซึ่งต้องทำการทดสอบเพื่อความเหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้งานเช่นการสื่อสารไร้สายระยะสั้นดังแสดงในรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.1 แถบความถี่มาตรฐานของ MB-OFDM ที่ใช้สำหรับเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง [10]



รูปที่ 6.2 โครงข่ายไร้สายระยะสั้นด้วยเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Ray Willington “Alereon and Spectec Debut SD CameraJet Wireless UWB Solution,” 2011 [Online]. Available <http://hothardware.com/News/Alereon-and-Spectec-Debut-SD-CameraJet-Wireless-UWB-Solution/>
- [2] P. Pagani, F. Talom, P. Pajusco, B. Uguen, “Ultra Wideband Radio Propagation Channels,” John Wiley & Sons, 2008.
- [3] C. Heidari, “WiMedia UWB Technology of Choice for Wireless USB and Bluetooth,” John Wiley & Sons, 2008.
- [4] I. Oppermann, M. Hamalainen, J. Linatti, “UWB Theory and Applications,” John Wiley & Sons, 2004.
- [5] K. Siwiak, “Ultra-wideband radio: A new pan and positioning technology,” IEEE Vehicular Technology Society News, February 2002, pp. 4–9.
- [6] 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.
- [7] K. Siwiak, “Ultra-wideband radio: Introducing a new technology,” IEEE Vehicular Technology Conference, VTC-Spring, vol. 2, no. 53, 2001, pp. 1088–1093.
- [8] FCC, “Revision of Part 15 the Commission’s Rules Regarding Ultra-wideband Transmission Systems,” ET Docket, 2002.
- [9] J. H. Reed, “An Introduction to Ultra Wideband Communication Systems,” Prentice Hall, 2005
- [10] S. Hongson, “On the spectral and power requirements for UWB transmission,” ICC 2003, vol. 1, May 2003, pp. 738–742.
- [11] I. Opperman, M. Hamalainen and J. linatti, “UWB Theory and Applications,” John Wiley & Sons, 2004.
- [12] ETSI, “Harmonised Standards Covering Ultrawide Band (UWB) Applications,” Standization Mandate: DG ENTR/G/3M/329, Brussels, Feb. 2003.
- [13] 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.
- [14] MIC Japan’s, “UWB emission policy advances,” EE Times, Washington, 26 Aug. 2005.
- [15] 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)

- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] Y. Park, F. Adachi, "Enhanced Radio Access Technologies for Next Generation Mobile Communication," Springer, 2007.
- [20] H.T. Friis, "A note on a simple transmission formula," *Proc. IRE*, vol. 34, no. 5, pp. 254-256, May 1946.
- [21] 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.
- [22] 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, Jul. 2004.
- [23] 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ผลงานที่ได้นำเสนอการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ

- [1] P. Preambut, S. Promwong “Antenna Performance Evaluation of Ultra Wideband Application for Big Data Transmission,” The Joint International Conference on Information and Communication Technology Electronic and Electrical Engineering (JICTEE 2014), The Mantrini Chiang Rai, Thailand, March, 2014.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

cases of constant gain and constant aperture antennas are calculated for estimating UWB free space link budget.

In this paper, the interference evaluation scheme for UWB-IR is proposed. This scheme is based on Friis' transmission formula, adapted to UWB. The experimental transmission loss of propagation channel for UWB-IR systems is evaluated. The transmission and the receiver template waveforms are the keys for the extension of the Friis' formula. Experimental path loss are investigated for biconical antenna.

F9-5 Antenna Performance Evaluation of Ultra Wideband Applications for Big Data Transmission

Pokrath Premsombut King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand

Sathaporn Promwong King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand

An ultra wideband (UWB) impulse radio system can be extremely distorted through a channel even for free-space transmission because of antenna dispersion. This highly degrades the link budget performance. Therefore, the understand of antenna characteristics, which effects on waveform distortion, is necessary. This paper studies the waveform distortion due to antenna on free space transmission in UWB system for big data transmission. The link budget is usually evaluated by using the Friis' transmission formula. However, it is not directly applicable to the UWB transmission system. The link budget evaluation formula attended from conventional Friis' transmission formula that takes into account the transmitted waveform, its distortion due to the antennas, the channel and the correlation receiver is proposed. This model is based on the Friis' transmission formula, adapted to the UWB transmission system, in the sense that we derive the equivalent frequency transfer function of UWB-IR system [1]-[2]. Since the antennas are significant pulse-shaping filters in UBW system, the broadband antennas are experimentally examined, especially focused on the effect of the received signal and the isotropic template waveforms. This scheme provides some useful physical insights and optimized design procedure with clear and accessible description of the UWB-IR link budget comprised of practical antennas. Furthermore, there distortion quantities can be used as reference for performance evaluation of UWB antennas.

Session (F9): Communication (4)

Friday 7 March 2014, 15:30 – 17:00 at Conference Room J3

- F9-1 The analysis of SU-RUS channels allocation for DWDM system** (pp.370-374)
 Chollatee Srinuan (King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang), Pitsanu Rodyoung (King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang), Tinnarut Panthum (King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang), Suthichai Noppanakeepong (King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang) [Abstract] [PDF]
- F9-2 Compact Dual-band I-shaped Patch Antenna with Longitudinal Strip on Inverted-T Ground Plane** (pp.375-378)
 Yuktitath Chawanonphithak (King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang), Chuwong Phongcharoenpanich (King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang) [Abstract] [PDF]
- F9-3 Indoor Measurement of UWB-IR Propagation Channel Using Time-Gating Techniques** (pp.379-384)
 Poramate Chiochan (King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang), Myo Myint Maw (King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang), Sarun Duangsuwan (King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang), Sathaporn Promwong (King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang) [Abstract] [PDF]
- F9-4 Interference Evaluation Scheme for UWB communication** (pp.385-389)
 Atikom Suppayasarn (King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang), Sanit Teawchin (King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang), Sathaporn Promwong (King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang) [Abstract] [PDF]
- F9-5 Antenna Performance Evaluation of Ultra Wideband Applications for Big Data Transmission** (pp.390-393)
 Pokrath Premsoambut (King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang), Sathaporn Promwong (King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang) [Abstract] [PDF]

Antenna Performance Evaluation of Ultra Wideband Applications for Big Data Transmission

JICTEE 2014

Pokrath Preamsombut¹ and Sathaporn Promwong²

Department of Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.

¹x55611934@kmitl.ac.th

²kpsathap@kmitl.ac.th

Abstract—Friis' transmission formula in complex form to treat the UWB signals to take into account the waveform distortion due to the frequency characteristics of the antennas [1], [2]. It is noted that Friis' transmission formula is applicable only in the far field region. In personal area network (PAN) environments, however, the distance may not satisfy the far field condition. In this paper, we discuss the experimental evaluation of the antenna performance in UWB-IR properties in Fresnel region for big data transmission.

Index Terms—UWB, UWB antennas, impulse radio, Friis' transmission formula, PAN

I. INTRODUCTION

The ultra wideband impulse radio (UWB-IR) transmission systems have attracted a great deal of attention because of its potentiality for application to short-range, high-speed mobile communications, low-power transmission, and so on. In order to minimize the interference with existent systems, the UWB is expected to be used mainly in wireless personal area networks (WPANs) and home networks [3], [4].

In UWB communication systems, the antennas are significantly pulse-shaping filters. Any distortion of the signal in the frequency domain causes the distortion of the transmitting pulse shape. Consequently this will increase the complexity of the detection mechanism at the receiver. Moreover, low cost, geometrically small and still efficient structures are required for typical wireless applications. Therefore the antenna design for UWB signal radiation is one of the main challenges [5], [6].

Even if the channel is in line of sight (LOS), Friis' transmission formula cannot be directly applied to the UWB radio as the bandwidth of the pulse is extremely wide. Furthermore, simple comparison between waveforms of transmitter and receiver is not significant because of the distortion of the waveform caused by the frequency response of the antenna.

In this paper, the experimental results of the transmission properties in Fresnel region of UWB propagation channel. This scheme is based on the Friis' transmission formula, adapted for UWB, in the sense that we would like to derive the equivalent antenna gain for UWB systems. The transmission waveform and the matched filter reception are keys for the extension of the Friis' formula to UWB. An experiment is carried out using the biconical antenna for UWB operation in the anechoic chamber.

II. FREE SPACE TRANSMISSION ANALYSIS FOR UWB-IR

The Friis' transmission formula [7] has been widely used to evaluate the link budget for the narrowband LOS channels. The

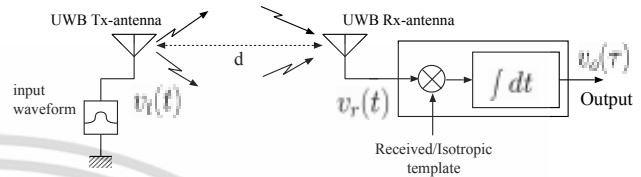


Fig. 1. Block diagram of transmission system model for UWB-IR signal.

Friis' transmission gain $G_{\text{Friis}}(f)$ is defined as

$$G_{\text{Friis}}(f) = \frac{P_r(f)}{P_t(f)}, \quad (1)$$

$$= G_f(f, d)G_r(f, \Omega_r)G_t(f, \Omega_t)\eta_p(f),$$

where $P_t(f)$ and $P_r(f)$ respectively are the input power to the transmitter (Tx) antenna and the output power from the receiver (Rx) antenna, $G_t(f, \Omega_t)$ and $G_r(f, \Omega_r)$, respectively and $G_f(f, d)$ is the free space propagation gain and $\eta_p(f)$ is the polarization matching efficiency. The free space propagation gain can be written as

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

where $\lambda = c/f$ is the wavelength, c is the velocity of light, f is the operating frequency and d is the separation between Tx and Rx antennas.

It is noted, however, that Eq. (1) is satisfied only at some frequency, and is not directly applicable to UWB-IR systems. The formula shall be extended to take into account the transmitted waveform, its distortion due to the antennas, the channel and the correlation receiver [1], [8].

Free space channel response including the antennas is obtained by using the extension of Friis' transmission formula as

$$H_c(f) = H_f(f, d)\mathbf{H}_r(f, \Omega_r) \cdot \mathbf{H}_t(f, \Omega_t), \quad (3)$$

where the free space transfer function $H_f(f, d)$ can be written as

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

$k = 2\pi/\lambda$ is the propagation constant and effective gain of Tx and Rx antennas apply $\mathbf{H}_a(f, \Omega_a)$ ($a = r$ or t) is a complex

transfer function vector of the antenna relative to the isotropic antenna towards the $\Omega_a = (\theta_a, \varphi_a)$ direction, i.e.

JICTEE 2014

$$\begin{aligned} \mathbf{H}_a(f, \Omega_a) &= \mathbf{H}_a(f, \theta_a, \varphi_a) \\ &= \hat{\theta}_a H_{a\theta}(f, \theta_a, \varphi_a) + \hat{\varphi}_a H_{a\varphi}(f, \theta_a, \varphi_a), \end{aligned} \quad (5)$$

$G_{f,d}(f)$ is the free space propagation gain and which has the relation as

$$\frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \|\mathbf{H}_a(f, \theta_a, \varphi_a)\|^2 \sin\theta d\theta d\varphi = \eta_a, \quad (6)$$

where η_a is the antenna efficiency, so that the value is normalized by that for isotropic antenna. Unit vectors $\hat{\theta}_a, \hat{\varphi}_a$ express the polarization and are defined with respect to the local polar coordinates of the antennas. The following relations can be easily derived as

$$\hat{\theta}_r = \hat{\theta}_t, \quad (7)$$

$$\hat{\varphi}_r = -\hat{\varphi}_t. \quad (8)$$

The spectral density of the receiver input $V_r(f)$ is given by

$$V_r(f) = H_c(f)V_t(f), \quad (9)$$

where $V_t(f)$ is the spectral density of the transmitted waveform.

A. Received Signal Correlation Receiver

Let us consider a correlation receiver shown in Fig. 1. The output SNR is dependent on the choice of the template waveform. The correlator output $v_o(\tau)$ is therefore expressed as

$$v_o(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v_r(t)h_w(t-\tau)dt, \quad (10)$$

where $v_r(t)$ is the receiver input waveform which is the inverse Fourier transform of Eq. (9), $h_w(t)$ is the template waveform and τ corresponds to the timing of the template waveform. The optimum timing τ_o is chosen as

$$\tau_o = \arg \max_{\tau} v_o(\tau). \quad (11)$$

Hereafter $h_w(t)$ is normalized as

$$\int_{-\infty}^{\infty} |h_w(t)|^2 dt = 2B, \quad (12)$$

where B is the signal bandwidth, so that the output noise power is a constant as N_0B , where $\frac{N_0}{2}$ is the power spectral density of AWGN.

Under the constraint of Eq. (12), $h_{wm}(t)$ maximizes $v_o(\tau_o)$ when $h_{wm}(t)$ is a time-reversed and scaled version of $v_r(t)$, i.e.

$$h_{wm}(t) = \frac{\sqrt{2B}v_r(\tau_o - t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |v_r(t)|^2 dt}}, \quad (13)$$

where τ_o is usually chosen so that $h_{wm}(t) = 0$ for $t < 0$ to satisfy the causality. $h_{wm}(t)$ is called the received signal template waveform hereafter. It is noted that the link budget evaluation is identical to that in [1] when $h_{wm}(t)$ is used as the receiver template.

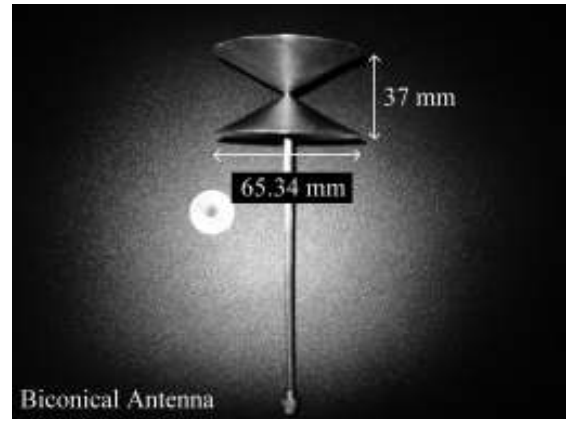


Fig. 2. Geometry and dimensions of the biconical antenna.

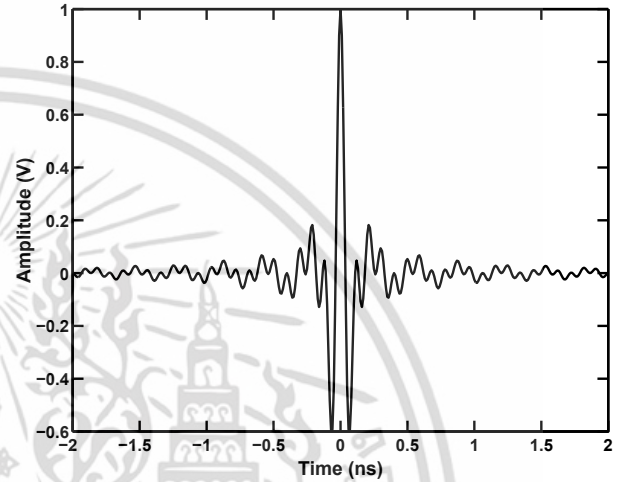


Fig. 3. The UWB transmitted signal waveform.

III. EXPERIMENT SYSTEM

The VNA was operated in the response measurement mode, where Port-1 was the transmitter port (Tx) and Port-2 was the receiver port (Rx), respectively. Biconical antennas with the maximum diameter of 65.3 mm and the length of 37 mm are used both as the standard antennas and as AUT [2]. The measurement was done in the anechoic chamber. Both Tx and Rx antennas were fixed at the height of 1.75 m and separated at a distance of 4 m.

A. UWB Antennas

The geometry and dimensions of the antenna and its characteristics are in Ref. [2]. From Fig. 2 the largest dimension of each Tx and Rx antennas are the inclined height $D_t = D_r = 75$ mm. The largest dimension of the antenna considering the field regions are $D = D_t + D_r = 150$ mm. For the whole UWB frequency spectrum, the inner boundary distance of the Fresnel region is 0.21 m while the outer boundary distance is 0.47 m. The inner boundary distance of the far field region for the whole UWB frequency spectrum is 1.59 m. Then, 0.5 m TR separation distances are chosen for the Fresnel region, while 2.0 m TR separation distances are chosen for the far field region. The practical maximum measured distance, 4 m, is

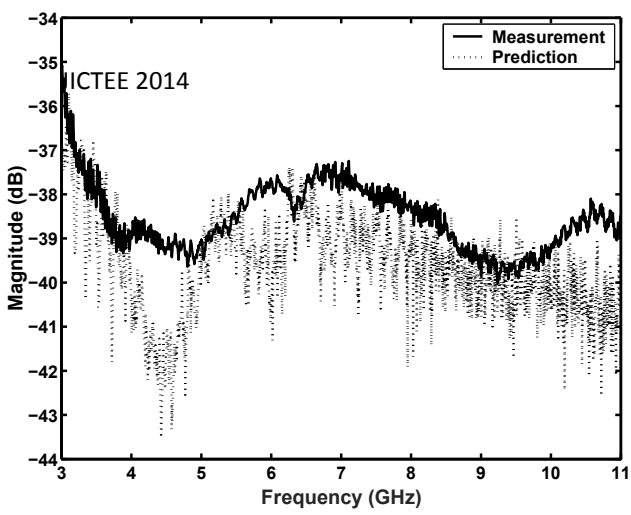


Fig. 4. The measured transfer function at 0.5 m distances: magnitude.

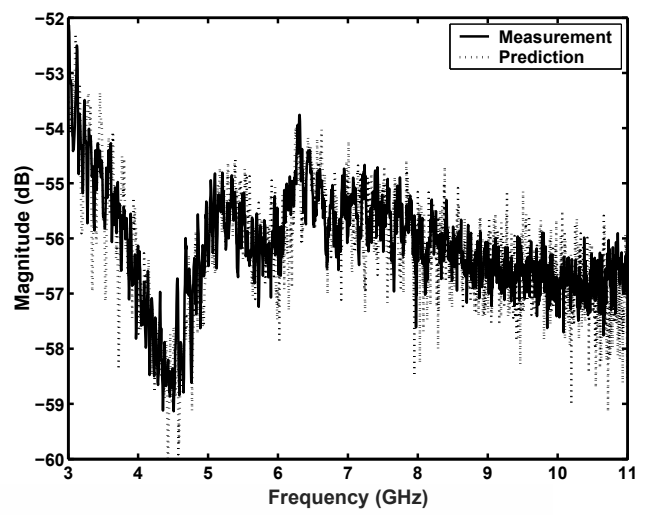


Fig. 6. The measured transfer function at 2 m distances : magnitude.

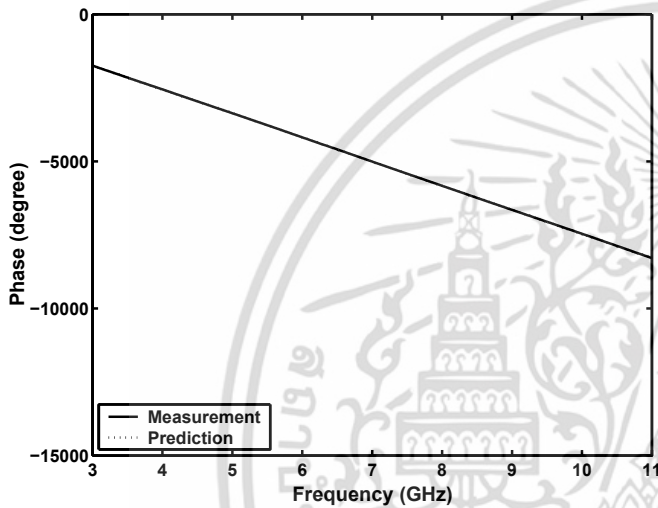


Fig. 5. The measured transfer function at 0.5 m distances: phase.

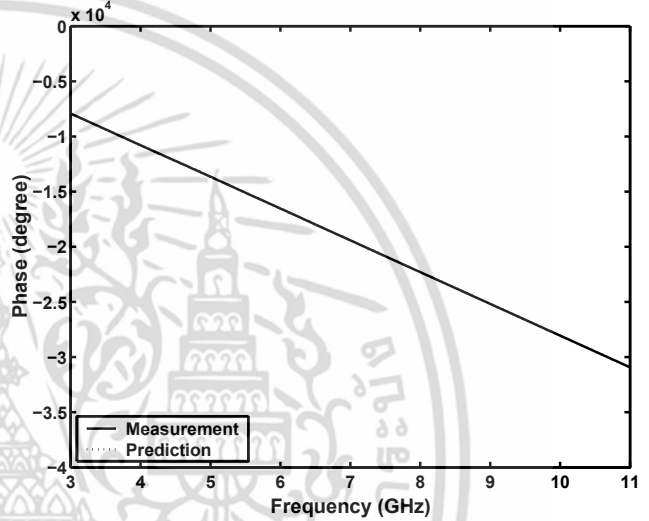


Fig. 7. The measured transfer function at 2 m distances: phase.

chosen as reference distance to estimate the accuracy of the antenna transfer function. The Tx and Rx antennas are assumed to be identical.

B. UWB Transmitted Signal Waveform

The effect of the waveform distortion is more obvious when the bandwidth is wider. We considered the impulse radio signal that fully covers the FCC band, i.e., 3.1 ~ 10.6 GHz is used to test the distortion of the received UWB waveform. This waveform is expressed by

$$v_i(t) = \frac{1}{f_b} [f_{\max} \text{sinc}(2f_{\max}t) - f_{\min} \text{sinc}(2f_{\min}t)], \quad (14)$$

where $f_{\min} = 3.1$ GHz is the minimum frequency, $f_{\max} = 10.6$ GHz is the maximum frequency, $f_b = f_{\max} - f_{\min}$ and $\text{sinc}(x) = \sin(\pi x)/(\pi x)$. This signal waveform in time domain shown in Fig. 3.

IV. EXPERIMENT RESULTS

The transfer function of Tx and Rx antennas are estimated by using the channel transfer function at 4 m, assuming that these antennas are with identical transfer function. Figures 4, 5 and 6, 7 show the magnitude and the phase of the transfer functions measured at 0.5 and 2.0 m distances. In Figs. 4 and 5, the measured values are compared with the predicted and complex form Friis' transmission formula. Both results are almost identical in the far field region, but the differences of magnitude are observed in the Fresnel region. We can clearly see that in the Fresnel region, the measured magnitude results are greater than the predicted magnitude results. This is due to the radial field in the Fresnel region. In the far field region, the radial field can be negligible.

Figures 8 and 9 compares the transmission of the received UWB waveform presented in Fig. 3, by using the measured transfer functions and those predicted by using the complex form Friis' transmission formula and the antenna transfer function. We can see a little difference between the measured

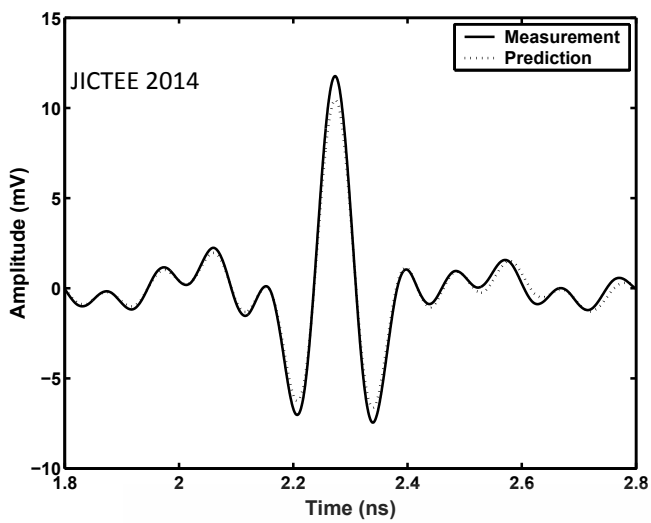


Fig. 8. The received signal waveforms at 0.5 m distances.

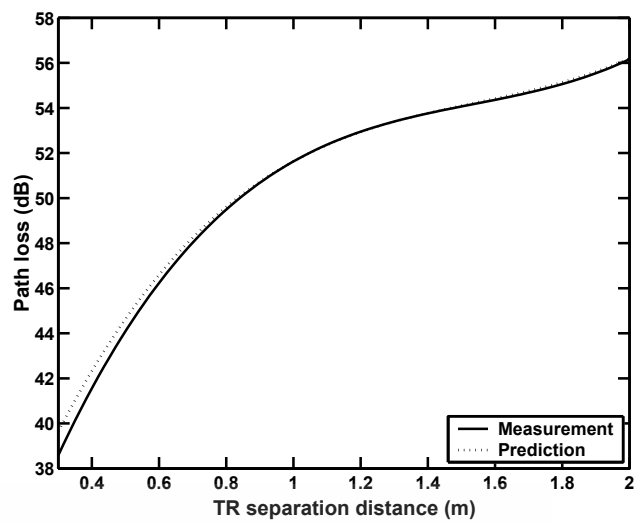


Fig. 10. Path loss of the received UWB-IR.

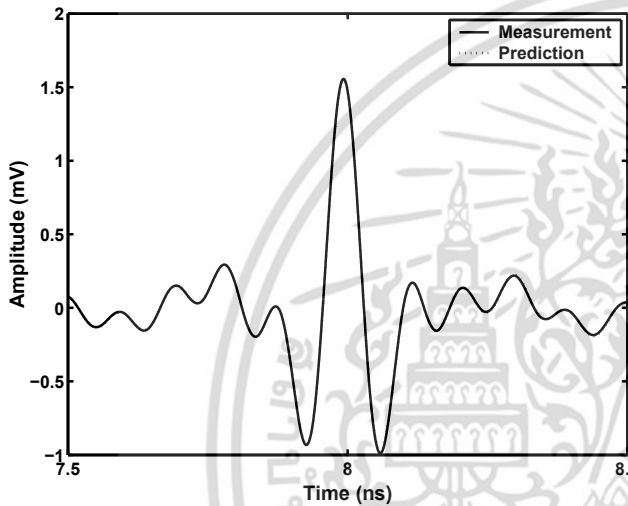


Fig. 9. The received signal waveforms at 2.0 m distances.

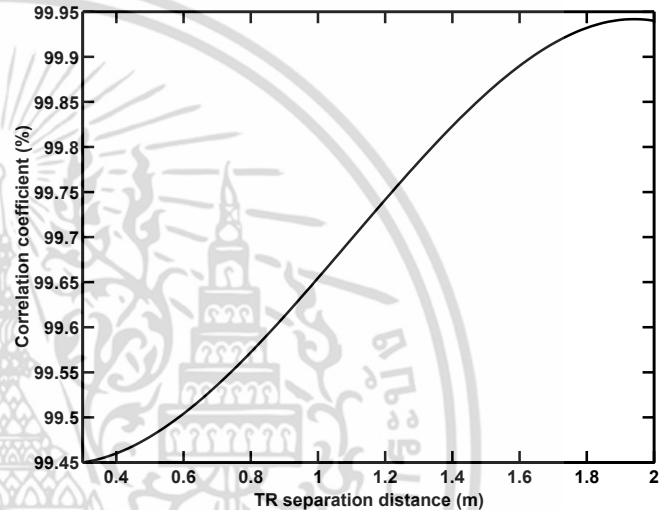


Fig. 11. The correlation coefficient of the received UWB-IR.

and the predicted waveforms in the Fresnel region. In the far field region on the other hand, the received waveforms are almost the same. Figure 10 shows the path loss between two received UWB waveforms corresponding to the measured and the predicted transfer function at a distance of 0.5 m and 2 m. The path gain is more obvious in the Fresnel region. Figure 11 shows the correlation between two waveforms corresponding to the measured and the predicted transfer functions. It has higher distortion in the Fresnel region. While in the far field region, the distortion is very small.

V. CONCLUSION

In this paper we discuss the antenna performance in complex form Friis' transmission formula in Fresnel region has been experimentally studied to consider the UWB-IR free space channel model. The error of the path loss is observed in the Fresnel region caused by the radial field. More comprehensive studies are necessary to consider the type of antennas and to find how to compensate the error. This approach is more useful

for design and evaluation of UWB-IR systems.

REFERENCES

- [1] 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.
- [2] S. Promwong and W. Hachitani, and J. Takada, "Free Space Link Budget Evaluation of UWB-IR Systems," 2004 International Conference on Ultra Wideband Systems and Technology (UWBST2004), pp. 312-316, May 2004.
- [3] K. Siwiak, "Ultra-Wide Radio: Introducing a New Technology," *Proc. 2001 Spring IEEE Veh. Tech. Conf. (VTC)*, May 2001.
- [4] K. Siwiak, "Ultra-Wide Radio: The emergence of an Important RF Technology," *Proc. 2001 Spring IEEE Veh. Tech. Conf. (VTC)*, May 2001.
- [5] H. F. Harmuth and S. Ding-Rong, "Antennas for Nonsinusoidal Wave — Part I: Radiators," *IEEE Trans. on Elec. Mag. Compat.*, vol. EMC-25, no. 1, pp. 13-24, Feb. 1983.
- [6] H. F. Harmuth and S. Ding-Rong, "Antennas for Nonsinusoidal Wave — Part II: Sensors," *IEEE Trans. on Elec. Mag. Compat.*, vol. EMC-25, no. 2, pp. 107-115, May 1983.
- [7] H. T. Friis, "A Note on a Simple Transmission Formula," *Proc. IRE*, Vol 34, no 5, pp. 254-256, May 1946.
- [8] J. Takada, S. Promwong and W. Hachitani, "Extension of Friis' Transmission Formula for UWB Systems," *IEICE Tech. Rep.*, May 2003.

JICTEE 2014

The Forth Joint International Conference on Information and
Communication Technology, Electronic and Electrical Engineering

March 5-8, 2014, Chiang Rai, Thailand



JICTEE
2014

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายปกรัฐ เปรมสมบัติ
ที่อยู่ 128/142 ซอยนนทรี 14 แขวงช่องนนทรี เขตยานนาวา กรุงเทพฯ 10120

ประวัติการศึกษา
ปริญญาตรี 2549 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประวัติการทำงาน
พ.ศ.2554 - ปัจจุบัน เจ้าหน้าที่คอมพิวเตอร์ บริษัท ไอทีวัน
พ.ศ.2549 - 2554 เจ้าหน้าที่คอมพิวเตอร์ ธนาคารกรุงศรี(สำนักงานใหญ่) จำกัด (มหาชน)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้