

สมรรถนะสายอากาศแถบกว้างย่าน 7-9 GHz
สำหรับการประยุกต์ใช้แถบกว้างยิ่ง

7-9 GHz WIDEBAND ANTENNA PERFORMANCE
FOR ULTRA WIDEBAND APPLICATIONS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2561

KMITL-2018-EN-M-010-176

สมรรถนะสายอากาศแถบกว้างย่าน 7-9 GHz
สำหรับการประยุกต์ใช้แถบกว้างยิ่ง

7-9 GHZ WIDEBAND ANTENNA PERFORMANCE
FOR ULTRA WIDEBAND APPLICATIONS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ KMITL-2018-EN-M-010-176
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7-9 GHZ WIDEBAND ANTENNA PERFORMANCE
FOR ULTRA WIDEBAND APPLICATIONS



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN TELECOMMUNICATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ KMITL-2018-EN-M-010-176
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2018

FACULTY OF ENGINEERING

เอกสารนี้ KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สมรรถนะสายอากาศแถบกว้างย่าน 7-9 GHz สำหรับ การประยุกต์ใช้แถบกว้างยิ่ง
นักศึกษา	นายชัชวรินทร์ ชินบุตร
รหัสนักศึกษา	56601261
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2561
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร.สถาพร พรหมวงศ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอวิธีการประเมินผลของสมรรถนะสายอากาศแถบกว้างย่าน 7GHz - 9 GHz สำหรับการประยุกต์ใช้ในระบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งระบบแถบกว้างยิ่งเป็นเทคโนโลยีไร้สายแถบกว้างยิ่ง ได้ถูกพัฒนามาจากระบบเรดาร์ก่อนหน้านี้และแล้วในปัจจุบันได้ถูกพัฒนาไปใช้การสื่อสารไร้สายระยะสั้น สำหรับโครงข่ายไร้สายความเร็วสูง กำลังงานส่งต่ำเหมาะในการประยุกต์ใช้โครงข่ายบ้านพักอาศัยและโครงข่ายในสำนักงาน อย่างไรก็ตามในหลักการวิเคราะห์สัญญาณรูปคลื่น และการประเมินผลสมรรถนะสายอากาศ ด้วยการประยุกต์ใช้สูตรการส่งผ่านของฟรีสมาใช้ในโดเมนของเวลา และในส่วนของ การทดลองวิจัยได้พิจารณาสายอากาศแถบกว้างสองชนิดคือ สายอากาศไดโพลแบบลายคราบลิ้น และสายอากาศแบบกรวยคู่สำหรับการประเมินผลของการวัดโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์สำหรับการวัด และบันทึกผล ผลการทดลองวิจัยจะนำมาวิเคราะห์และประเมินผลสมรรถนะของสายอากาศทั้งสองชนิด และทำการเปรียบเทียบสมรรถนะด้วยอัตราขยายตลอดย่านความถี่ใช้งานของสายอากาศแต่ละชนิด ซึ่งได้แสดงไว้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้อย่างถูกต้องและครบถ้วน

Thesis Title	7-9 GHz Wideband Antenna Performance for Ultra Wideband Applications
Student	Mr. Chatchawin Chinabutr
Student ID.	56601427
Degree	Master of Engineering
Program	Telecommunications Engineering
Year	2018
Thesis Advisor	Dr. Sathaporn Promwong

ABSTRACT

This thesis proposed the evaluation method of 7 GHz to 9 GHz wideband antenna performance for ultra wideband applications. The ultra wideband is not new technology is development from the radar system to apply for short range wireless system with home network and office network in high speed and low power transmission. This method to modified Friis' transmission formula to the time domain for evaluated the antenna performance with transmission gain. In the experimental system used two wideband antennas with the log periodic dipole antenna and biconical antenna for measurement evaluation and using vector network analyzer for measurement and recorder. The results from measured are evaluated the transmission gain with proposed method for ultra wideband applications are shown in this thesis.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้เป็นอย่างดีเยี่ยม ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาจาก อาจารย์ ดร.สถาพร พรหมวงศ์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ ช่วยเหลืออบรมสั่งสอน และคอยชี้แนะ แนวทางเกี่ยวกับงานวิจัยมาโดยตลอดเป็นอย่างดี ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จาก อาจารย์เป็นอย่างยิ่ง และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงยิ่งมา ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านเป็นอย่างสูงที่กรุณามาเป็น กรรมการสอบ และแนะนำต่าง ๆ

ขอขอบคุณ คุณธนดล เตียงทอง พี่น้อง ๆ ในห้องวิจัย UWB-RS (Ultra Wideband Radio System)ทุกท่านที่ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจให้มาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่คอยเป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุน ในทุกๆด้านมาโดยตลอด ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณ ทุกท่าน

ชัชวินท์ ชินบุตร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.3 สมมติฐาน.....	4
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	4
1.5 ขอบเขตการศึกษา	5
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	5
บทที่ 2 ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างที่ใช้ในปัจจุบัน.....	6
2.1 บทนำ.....	6
2.2 ระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง.....	7
2.3 ข้อกำหนดของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง.....	8
2.3.1 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่ง ในสหรัฐอเมริกา.....	9
2.3.2 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่ง ในยุโรป.....	10
2.3.3 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่ง ในญี่ปุ่น.....	12
2.3.4 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่ง ที่ใช้ร่วมกัน.....	13
2.4 มาตรฐานของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง.....	14
2.4.1 มาตรฐาน III 802.15.3a.....	15
2.4.2 มาตรฐาน III 802.15.4a.....	15
2.4.3 มาตรฐาน III 802.15.6.....	15
2.5 จุดเด่นของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง.....	17
2.6 สรุป.....	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่อ IV ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การวิเคราะห์สมรรถนะระบบสายอากาศสำหรับการประยุกต์ใช้ในแถบความถี่ร่วม....	20
3.1 บทนำ.....	20
3.2 แบบจำลองการส่งผ่านระบบแถบกว้างยิ่ง.....	20
3.3 การสูญเสียเชิงวิถี.....	22
3.4 เครื่องรับสหสัมพันธ์.....	22
3.4.1 เครื่องรับสหสัมพันธ์ด้วยสัญญาณที่รับได้.....	24
3.4.2 เครื่องรับสหสัมพันธ์ด้วยสัญญาณไอโซทรอปิก.....	25
3.5 ความเพี้ยนของรูปคลื่น.....	26
3.6 อัตราขยายการส่งผ่าน.....	26
3.7 รูปคลื่นสัญญาณการส่งผ่านของแถบความถี่ร่วม.....	27
3.8 สรุป.....	29
บทที่ 4 การทดลองวิจัยการถ่ายโอนสายอากาศแถบความถี่ร่วม ด้วยความผิดเพี้ยนเนื่องจากสายอากาศ.....	30
4.1 บทนำ.....	30
4.2 ขั้นตอนในการเตรียมการทดลอง.....	31
4.2.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์.....	31
4.2.2 สายอากาศแบบกรวยคู่ (Biconical Antenna).....	32
4.2.3 สายอากาศไดโพลรายคาบล็อก (Log Periodic Dipole Antenna).....	34
4.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง.....	35
4.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	36
4.5 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง.....	36
4.3 สรุป.....	38
บทที่ 5 ผลการทดลองวัดและวิเคราะห์.....	39
5.1 บทนำ.....	39
5.2 จากผลการทดลองวัดและการวิเคราะห์.....	39
5.2.1 อัตราขยายการส่งผ่านในแถบความถี่ร่วม.....	39
5.2.2 การประวิงกลุ่ม (Group Delay).....	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่อ V ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2.3 อัตราขยายการส่งผ่านตามมาตรฐาน FCC และแถบความถี่ร่วม.....	43
5.2.4 ความเพี้ยนเชิงเฟสของสายอากาศที่ใช้ในการทดสอบ.....	46
5.3 สรุป.....	48
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองวิจัยและแนวทางการวิจัยในอนาคต	49
6.1 บทนำ.....	49
6.2 ผลการทดลองความเพี้ยนช่องสัญญาณการส่งผ่าน.....	48
6.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการวิจัยพัฒนา.....	50
เอกสารอ้างอิง.....	52
ภาคผนวก.....	54
ประวัติผู้เขียน	56

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร 9
2.2	ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร 10
2.3	ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงานที่แก้ไขใหม่โดย ETSI สำหรับการใช้งานของระบบการสื่อสารภายในอาคาร 11
2.4	ข้อกำหนดระดับ PSD ที่แพร่กระจายออกมาสำหรับการสื่อสารภายในอาคารเท่านั้นที่กำหนดโดย MIC 12
2.5	ข้อกำหนดระดับ PSD ที่แพร่กระจายออกมาสำหรับการสื่อสารแถบความถี่ร่วม 13
4.1	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง 35
4.2	รายการอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองวิจัย 37

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 การเปรียบเทียบอัตราการส่งข้อมูลระหว่างระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง และระบบการสื่อสารแถบอื่นๆ	1
1.2 ความเพี้ยนของส่งผ่านการสื่อสารไร้สายแถบกว้างยิ่ง	2
2.1 การเปรียบเทียบแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนของระบบการสื่อสารแถบแคบ และระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง	7
2.2 การเปรียบเทียบความหนาแน่นสเปกตรัมของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง การสื่อสารแถบแคบอื่นๆ	8
2.3 ความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมตามข้อกำหนด FCC สำหรับระบบการสื่อสาร แถบกว้างยิ่งภายในและภายนอกอาคาร	10
2.4 ความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมตามข้อกำหนด ETSI สำหรับระบบการสื่อสารแถบ กว้างยิ่งภายในและภายนอกอาคาร	11
2.5 ความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมตามข้อกำหนด ETSI ที่แก้ไขใหม่ สำหรับระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง ภายในอาคาร	12
2.6 ความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมสำหรับการสื่อสารภายในอาคารที่กำหนดโดย MIC	13
2.7 ความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมสำหรับการสื่อสารภายในอาคาร ที่กำหนดร่วมกันโดย FCC, ETSI และ MIC	14
2.8 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์ประเภทต่าง ๆ สำหรับระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง	16
3.1 บล็อกไดอะแกรมของการถ่ายโอนสายอากาศสำหรับแถบความถี่ร่วม	21
3.2 บล็อกไดอะแกรมของการสูญเสียในการส่งผ่านสำหรับแถบความถี่ร่วม.....	23
3.3 บล็อกไดอะแกรมการจำลองการวิเคราะห์สมรรถนะสายอากาศสำหรับแถบกว้างยิ่ง.....	26
3.4 รูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของโรซีโคชานน์ที่ถูกนอร์มัลไลซ์เป็นไปตามสเปกตรัมมาส์ค ของแถบความถี่ร่วม	28
3.5 ความหนาแน่นสเปกตรัมที่ถูกนอร์มัลไลซ์ของรูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของโรซีโคชานน์ ที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาส์คของแถบความถี่ร่วม	29
4.1 บล็อกไดอะแกรมการทดลองการวัดช่องสัญญาณการผิดเพี้ยนเนื่องจากสายอากาศ	30
4.2 เครื่องวิเคราะห์ที่โครงข่ายแบบเวกเตอร์ (Vector Network Analyzer)	31
4.3 โครงสร้างและขนาดของสายอากาศกรวยคู่ที่ใช้ในการทดลองวัด.....	32
4.4 สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ $ S_{11} $ ของสายอากาศแบบกรวยคู่	33

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 อัตราขยายและเฟสของสายอากาศกรวยคู่	33
4.6 สายอากาศไดโพลรายคาบล็อก (Watkins-Johnson AR7-15A)	34
4.7 สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ $ S_{11} $ ของสายอากาศไดโพลรายคาบล็อก	35
4.8 แบบจำลองการวัดในห้องไร้การสะท้อนและการติดตั้งอุปกรณ์	36
4.9 การวัดทดสอบความเพี้ยนเชิงเฟสของสายอากาศในห้องไร้การสะท้อน.....	36
4.10 ลักษณะการวางสายอากาศและระบบการวัด	37
5.1 อัตราขยายการส่งผ่านสำหรับการเชื่อมโยงกรวยคู่ใช้สายอากาศกรวยคู่-กรวยคู่	40
5.2 อัตราขยายการส่งผ่านสำหรับการเชื่อมโยงกรวยคู่ใช้สายอากาศกรวยคู่-สายอากาศ ไดโพลรายคาบล็อก	40
5.3 การประวิงกลุ่มกรวยคู่ใช้สายอากาศแบบกรวยคู่-กรวยคู่	41
5.4 การประวิงกลุ่มกรวยคู่ใช้สายอากาศแบบกรวยคู่-สายอากาศไดโพลรายคาบล็อก	42
5.5 อัตราขยายการส่งผ่านตามมาตรฐานของ FCC สำหรับการเชื่อมโยงของสายอากาศ กรวยคู่-กรวยคู่	42
5.6 อัตราขยายการส่งผ่านตามมาตรฐานของแถบความถี่ร่วมสำหรับการเชื่อมโยง ของสายอากาศกรวยคู่-สายอากาศกรวยคู่	43
5.7 อัตราขยายการส่งผ่านตามมาตรฐานของ FCC สำหรับการเชื่อมโยง ของสายอากาศกรวยคู่-สายอากาศไดโพลรายคาบล็อก	44
5.8 อัตราขยายการส่งผ่านตามมาตรฐานของแถบความถี่ร่วมสำหรับการเชื่อมโยง ของสายอากาศกรวยคู่-สายอากาศไดโพลรายคาบล็อก	43
5.9 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการกระเพื่อมของเฟสโดยการเชื่อมโยงด้วยสายอากาศกรวยคู่ทั้งคู่ ระหว่างแถบความถี่ FCC กับแถบความถี่ร่วม.....	44
5.10 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการกระเพื่อมของเฟสโดยการเชื่อมโยงด้วยสายอากาศไดโพล รายคาบล็อกทั้งคู่ ระหว่างแถบความถี่ FCC กับแถบความถี่ร่วม.....	45
5.11 การเปรียบเทียบความเพี้ยนเชิงเฟสสำหรับการเชื่อมโยงด้วยสายอากาศแบบกรวยคู่.....	47
5.12 การเปรียบเทียบความเพี้ยนเชิงเฟสของการเชื่อมโยงด้วยสายอากาศไดโพลรายคาบล็อก....	48
6.1 การใช้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งถูกใช้งานร่วมกับเทคโนโลยีอื่น ๆ	49

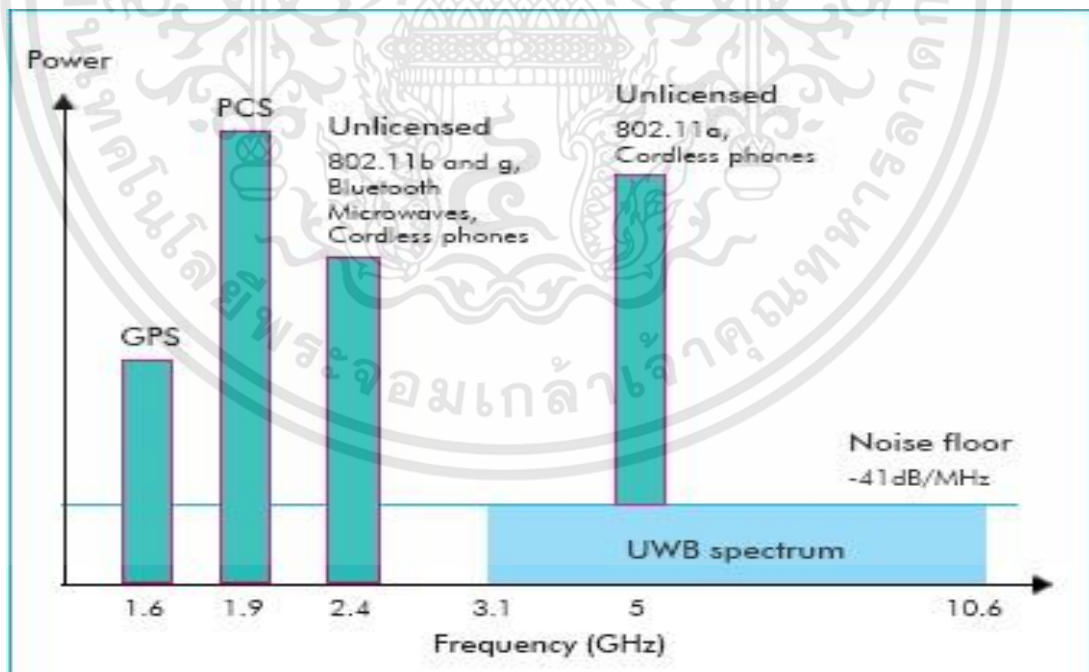
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ด้วยความต้องการเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่มีความเร็วสูง จึงทำให้เข้ามามีบทบาทอย่างมากในชีวิตประจำวัน ไม่ว่าจะเป็นโครงข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Local Area Network: WLAN) และโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลไร้สาย (Wireless Personal Area Network: WPAN) เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามก็ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จนมีการกล่าวกันมากขึ้นถึงแถบกว้างไร้สาย(Wireless broadband) และมีแนวโน้มว่า จะนำมาใช้ในสถานศึกษา ในโรงพยาบาล บ้านพักอาศัย และสำนักงาน มีเทคโนโลยีหนึ่งที่ได้รับการศึกษาวิจัยกันมากในขณะนี้ นั่นก็คือเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง เพราะว่าเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งเป็นเทคโนโลยีที่สามารถตอบสนองความต้องการผู้ใช้ได้ดีมาก โดยมีแบนด์วิดท์กว้างมาก สามารถส่งข้อมูลได้สูงมาก มีความจุสูง ใช้กำลังงานการส่งข้อมูลต่ำ และต้นทุนการผลิตด้วยคุณสมบัติดังที่ได้กล่าวมาดังนี้

เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายแถบกว้างยิ่งนี้ มีช่วงความถี่ระหว่าง 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz และมีแบนด์วิดท์กว้างมากที่สุดเท่ากับ 7.5 GHz ดังแสดงในรูปที่ 1.1



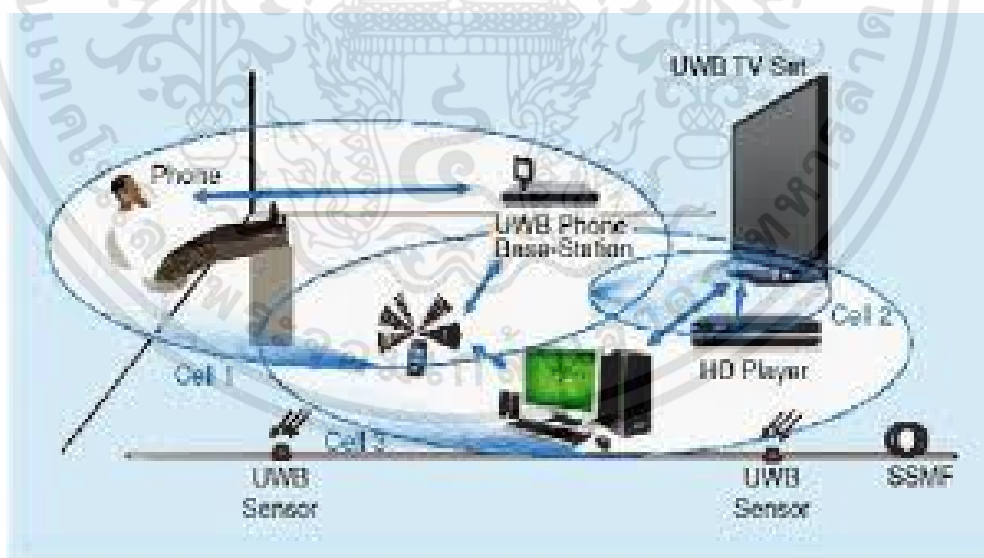
รูปที่ 1.1 การเปรียบเทียบอัตราการส่งข้อมูลระหว่างระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งและระบบการสื่อสารแถบอื่น ๆ [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ใช้กำลังในการส่งต่ำที่ -41.3 dBm/MHz จึงทำให้เกิดการรบกวนง่ายและถูกตรวจจับสัญญาณได้ยาก
- มีอัตราการส่งข้อมูลที่สูง คือ 110 Mbps ที่ระยะทาง 10 m
- การส่งสัญญาณของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งจะส่งสัญญาณในลักษณะเป็นอิมพัลส์ โดยไม่มีการนำเอาสัญญาณข้อมูลไปมอดูเลตกับสัญญาณพาห้ จึงทำให้อุปกรณ์ในระบบแถบกว้างยิ่งมีราคาถูก
- มีสัดส่วนของแบนด์วิดท์ (Fractional Bandwidth) ในการส่งมากกว่าหรือเท่ากับ 20 % ของแถบความถี่กลาง หรือมีการใช้แถบความถี่มากกว่าหรือเท่ากับ 500 MHz

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

ดังปัญหาที่ได้รับความสนใจของวิทยานิพนธ์นี้ก็คือ ความเพี้ยนของสัญญาณการส่งผ่านที่เกิดจากสายอากาศ และการแพร่กระจายคลื่นแถบกว้างยิ่ง เช่น เฟส อัตราการขยาย ดังที่แสดงในรูปที่ 1.2 และได้แสดงแบบแผนการทดลองวิจัย และแบบแผนการประเมินผล ในวิทยานิพนธ์นี้้อย่างละเอียด



รูปที่ 1.2 ความเพี้ยนของส่งผ่านการสื่อสารไร้สายแถบกว้างยิ่ง [2]

เมื่อนำเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายแถบกว้างยิ่งมาใช้ในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารที่มีระยะสั้น เพราะต้องการความเร็วสูงมาก โดยจะทำให้สัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากสายอากาศแล้วผ่านเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งจนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุที่เป็นตัวกลาง ไปยังสายอากาศด้านรับ มีการลดทอนกำลังงานลง ส่งผลกระทบต่อสัญญาณที่รับได้ อาจทำให้สัญญาณที่รับได้เกิดความผิดเพี้ยนของเฟสได้ หรืออาจจะรับสัญญาณไม่ได้เลย ดังนั้น วิทยานิพนธ์นี้จึงได้ทำการศึกษาวิจัยถึงความเพี้ยนเชิงเฟสอันเนื่องจากสายอากาศและช่องสัญญาณ แถบกว้างยิ่งในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายได้พัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว และเป็นปัจจัยหนึ่ง ที่มีบทบาทอย่างมากในการพัฒนาประเทศ และชีวิตความเป็นอยู่ในปัจจุบัน เช่น การติดต่อสื่อสารทางไกลทั้งใน ประเทศและระหว่างประเทศ การประชุมผ่านทางไกล การเรียนการสอนผ่านทางไกล การติดต่อสื่อสารส่วนบุคคล การติดต่อสื่อสารระยะสั้น ๆ ยกตัวอย่างเช่น โคร่งข่ายในเป็นสำนักงาน และการโคร่งข่ายภายในบ้านพักอาศัย เป็นต้น เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายเหล่านี้ล้วนแล้วมีความต้องการความเร็วสูงมากในการส่งผ่านข้อมูล ดังนั้นเพื่อให้ได้ตามความต้องการของเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งความกว้างของแถบความถี่ และความจุของช่องสัญญาณ จึงเป็นประเด็นการพัฒนาเข้าไปสู่เทคโนโลยี 3G, 4G, 5G WiMedia และ WiMAX ในอนาคตอันใกล้นี้ เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ได้อย่างสมบูรณ์ และมีประสิทธิภาพสูงสุด จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจมากสำหรับการศึกษาวิจัย มีเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายมากมายที่ได้รับความสนใจ แต่มีเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง (Ultra wideband: UWB) เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่ได้รับความสนใจมาก เพราะมีแถบกว้างมาก แบนด์วิดท์กว้างถึง 7.5 GHz ในช่วงความถี่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz และใช้กำลังงานต่ำ ดังนั้นก่อนที่จะนำไปใช้งานจริง ให้ได้ผลประโยชน์สูงสุด ทั้งภายในอาคารสำนักงาน และโคร่งข่ายภายในบ้านพักอาศัย จึงต้องศึกษาวิจัยและพัฒนาให้เหมาะสม และถูกต้องให้มากที่สุด บนมาตรฐาน IEEE802.15.3a (WPAN)

ศึกษาทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์แถบกว้างยิ่งบนพื้นฐานหลักการสูตรส่งผ่านของฟรีส (Friis's transmission formula) แต่อย่างไรก็ตามไม่สามารถนำสูตรการส่งผ่านของฟรีสมาใช้ได้โดยตรงเพราะว่าอธิบายอยู่รูปของโดเมนความถี่ จึงต้องทำการประยุกต์เอาสูตรของฟรีสมาใช้ ที่ใช้สูตรของฟรีสเพราะว่าง่ายและเป็นที่ยอมรับ และได้ สภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องศึกษาคุณลักษณะและความเพี้ยนของสัญญาณเมื่อมีการส่งออกมาจากสายอากาศอาจจะทำให้เกิดการลดทอนกำลังงานและความเพี้ยนของสัญญาณได้ ด้วยปัจจัยต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการถูกลดทอนที่ตัวสายอากาศ และสภาวะแวดล้อมของอาคาร ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อสัญญาณที่รับได้ หรืออาจจะทำให้รับสัญญาณไม่ได้เลยก็เป็นได้ วิทยานิพนธ์นี้ต้องการที่จะศึกษาผลกระทบจากสายอากาศและสภาวะแวดล้อมจริงที่มีผลต่อช่องสัญญาณของระบบการสื่อสารไร้สายแถบกว้างยิ่ง ซึ่งพิจารณาบนพื้นฐานของการวัดจริง ทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ของแบบจำลองขึ้น โดยนำผลที่ได้จากการวัดโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โคร่งข่ายแบบเวกเตอร์ (Vector Network Analyzer: VNA) มาทำการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณที่เกิดจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การส่งผ่าน เช่น ฟังก์ชันถ่ายโอนช่องสัญญาณ (Channel Transfer Function) อัตราขยายในการส่งผ่าน (Transmission Gain) ความผิดเพี้ยนในรูปของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) ส่วนทางด้านรับได้พิจารณาใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ เพื่อให้ค่าอัตราส่วนกำลังงานสัญญาณต่อกำลังงานความหนาแน่นสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio: SNR) มีค่ามากที่สุด

1.3 สมมติฐาน

สมมติฐานของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้พิจารณาการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง เพราะในอนาคตนั้นความต้องการของผู้ใช้และการขยายตัวทางด้านเทคโนโลยีก็มากขึ้น จะเป็นระบบมัลติมีเดีย เพราะฉะนั้นความต้องการแบนด์วิดท์ และความต้องการความจุช่องสัญญาณก็มีมากขึ้น ดังนั้นการศึกษาวิจัยจึงเป็นเรื่องสำคัญยิ่ง จากการส่งผ่านสัญญาณแถบกว้างยิ่งที่ไม่รู้ถึงคุณลักษณะช่องสัญญาณคุณสมบัติของสายอากาศที่นำมาใช้ให้เกิดได้จริง วิธีการหรือหลักการวิเคราะห์สัญญาณการส่งผ่านแบบแถบกว้างให้มีความเหมาะสมที่สุดจะทำอย่างไร ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เห็นถึงความสำคัญของการถ่ายโอนช่องสัญญาณแถบกว้างโดยเฉพาะความเพี้ยนเชิงเฟสที่เกิดจากสายอากาศ และช่องสัญญาณแถบกว้าง บนพื้นฐานสูตรการส่งผ่านของฟรีส และทางด้านรับได้พิจารณาใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ ด้วยแบบแผนที่ได้นำเสนอจะทำให้ผู้วิจัยสามารถออกแบบรูปแบบการวัด การวิเคราะห์ช่องสัญญาณได้ ทำให้รู้ถึงคุณลักษณะของสัญญาณการส่งผ่าน อัตราการขยาย ความเพี้ยนช่องสัญญาณอันเกิดจากสายอากาศ และการแพร่กระจายคลื่นแถบกว้างยิ่ง และพารามิเตอร์อื่นที่ต้องทราบก็สามารถทำได้

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ในแนวทางการศึกษาวิจัยของวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอแบบแผนการประเมินผลของความผิดเพี้ยนเฟสที่เกิดขึ้นเนื่องจากสายอากาศสำหรับวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง บนพื้นฐานสูตรการส่งผ่านของฟรีส โดยการประยุกต์ใช้สูตรการส่งผ่านของฟรีส และได้พิจารณาใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ ส่วนรูปคลื่นสัญญาณส่งได้ใช้ตามข้อกำหนดมาตรฐานของคณะกรรมการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communication Commission: FCC) รูปคลื่นแถบสี่เหลี่ยมที่แบนด์วิดท์ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz และรูปคลื่นแถบสี่เหลี่ยมรวมที่แบนด์วิดท์ 7.25 GHz ถึง 8.5 GHz ในการทดลองวิจัยได้ทำการวัดในห้องไร้การสะท้อนโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โคจรข่ายแบบเวกเตอร์ในการวัดและบันทึกผล และสายอากาศแบบแถบกว้างสองชนิดคือสายอากาศกรวยคู่ และสายอากาศไดโพลรายคาบล็อกในการประเมินผลการวัด จากนั้นผมที่ได้จากการวัดมาประเมินผลความเพี้ยนเชิงเฟส อัตราขยายในการส่งผ่าน จากนั้นก็เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างผลกรณีใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ที่สัญญาณที่รับได้มาเป็นสัญญาณต้นแบบ และกรณีที่ใช้เครื่องแบบสหสัมพันธ์ที่สัญญาณไอโซทรอปิกเป็นสัญญาณต้นแบบ ก็จะทำให้รู้ถึงความเพี้ยนสัญญาณแถบกว้างยิ่งได้

1.5 ขอบเขตการศึกษา

วิทยานิพนธ์นี้ได้เสนอแบบแผนการประเมินผลความเปลี่ยนแปลงเชิงเฟสที่เกิดจากสายอากาศ และช่องสัญญาณการแพร่กระจายคลื่นแถบกว้างยิ่ง บนพื้นฐานสูตรการส่งผ่านของฟรีส และทางด้านรับ ได้พิจารณาใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ ส่วนการวัด ได้ทำการทดลองวิจัยในห้องไร้การสะท้อน แล้วทำการวัดและบันทึกผลด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ และได้ใช้สายอากาศแถบกว้างสองชนิดในการประเมินผลการวัด จากนั้นนำผลที่ได้จากการวัดมาประเมินผลความเปลี่ยนแปลงเชิงเฟส และอัตราขยายในการส่งผ่านแถบกว้างยิ่งโดยใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์

1.6 ขั้นตอนการศึกษา

จากแนวคิดและหลักการที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถสรุปเป็นขั้นตอนการศึกษา เริ่มจากการศึกษาทฤษฎีและหลักการประเมินผลความผิดเพี้ยนของเฟส อัตราการขยายการส่งผ่านช่องสัญญาณบนพื้นฐานสูตรการส่งผ่านของฟรีส และเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ จากนั้นกล่าวถึงขั้นตอนการทดลองวิจัย ในส่วนของการวัดฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์และสายอากาศแถบกว้าง อุปกรณ์ที่ใช้ทดลองวิจัย และรูปแบบวิธีการวัดโดยยึดหลักตามแบบแผนที่ออกแบบไว้ ให้มีเหมาะสมและสามารถประยุกต์ได้จริง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาเป็น 6 บท คือ ในบทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐาน ทฤษฎีที่ใช้ ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา จากนั้นบทที่ 2 กล่าวถึงเทคโนโลยีการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง ประกอบด้วยประวัติและความเป็นมา ลักษณะโดยทั่วไปของระบบแถบกว้างยิ่ง จุดเด่นของระบบแถบกว้างยิ่ง รูปแบบของสัญญาณที่ใช้ในการส่ง บทที่ 3 จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการประเมินผลของความเปลี่ยนแปลงเชิงเฟส อัตราขยายการส่งผ่านช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่ง บทที่ 4 กล่าวถึงรูปแบบการจำลอง การวัด การเตรียมการวัด และการวัดสัญญาณแถบกว้างยิ่ง ประกอบด้วย รูปคลื่นการส่งแถบกว้างยิ่ง สายอากาศที่ใช้ทดสอบ และค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ แล้วนำผลที่ได้จากการวัดไปทำการวิเคราะห์ และการประเมินผลการทดลองวิจัย แสดงไว้ในบทที่ 5 และบทที่ 6 ได้สรุปผลการทดลองวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

ระบบการสื่อสารแถบกว้างที่ใช้ในปัจจุบัน

2.1 บทนำ

การสื่อสารระบบแถบกว้างยิ่ง เป็นการสื่อสารที่มีการส่งสัญญาณในลักษณะเป็นพัลส์สั้น ๆ มีช่วงเวลาของพัลส์แคบมากและใช้กำลังงานในการส่งสัญญาณมีค่าต่ำ ปัจจุบันนี้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งได้รับความสนใจอย่างแพร่หลาย สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับการสื่อสารไร้สายเพื่อรองรับความต้องการของผู้ใช้งาน เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งเป็นเทคโนโลยีที่มีความละเอียดทางโดเมนเวลาสูง ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เทคโนโลยีนี้มีความเที่ยงตรงสูงมากเช่นกัน ด้วยสาเหตุอันเนื่องมาจากแบนด์วิดท์ของระบบแถบกว้างยิ่งกว้างมาก อีกทั้งยังมีคุณสมบัติในการทะลุทะลวงสิ่งกีดขวางได้ดี ยกตัวอย่างเช่น กำแพง ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป สัญญาณของระบบแถบกว้างยิ่ง มีแบนด์วิดท์มากกว่าหรือเท่ากับ 500 MHz หรือมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนมากกว่าหรือเท่ากับ 0.2 จากสูตรการหาค่าความจุของช่องสัญญาณตามที่ Shannon ได้กล่าวไว้ แสดงให้เห็นว่า ระบบแถบกว้างยิ่ง เมื่อแบนด์วิดท์กว้างจะทำให้มีค่าความจุของช่องสัญญาณมาก ทำให้ส่งข้อมูลได้ในปริมาณที่มากขึ้น สามารถรองรับผู้ใช้งานได้จำนวนมากตามไปด้วย จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นการส่งสัญญาณของระบบแถบกว้างยิ่ง นั้นจะทำการส่งสัญญาณผ่านช่องสัญญาณคลื่นวิทยุในลักษณะที่เป็นอิมพัลส์ โดยไม่มีการนำเอาสัญญาณข้อมูลไปมอดูเลตกับสัญญาณพาหุ ฉะนั้นเทคนิคของระบบนี้จึงไม่จำเป็นต้องใช้มิกเซอร์ ทำให้สร้างระบบได้ง่าย ซึ่งหมายความว่า สามารถสร้างระบบทั้งภาคส่งและภาครับให้มีราคาถูก ต้นทุนต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับระบบการสื่อสารแบบดั้งเดิมที่ใช้คลื่นความถี่วิทยุ (Radio Frequency : RF)

เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง 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 โดยอนุมัติให้ใช้ในเชิงพาณิชย์กับการใช้งานของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิเล็กทรอนิกส์ร่วมกันบนแถบความถี่ที่ได้กำหนดไว้ และต้องมีความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมที่ส่งตาม [6]

เนื่องจากระบบแถบกว้างยิ่ง ทำงานบนช่วงแถบความถี่ที่มีแบนด์วิดท์กว้าง ดังนั้น FCC จึงกำหนดความหนาแน่นของสเปกตรัมกำลังงานส่งต่อความถี่ในการส่งสัญญาณของระบบแถบกว้างยิ่งไม่เกิน -41.3 dBm/MHz เพื่อป้องกันไม่ให้ระบบแถบกว้างยิ่ง ไปแทรกสอดกับระบบแถบแคบอื่น ๆ ด้วยสาเหตุดังกล่าวจะเห็นว่าระดับความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของระบบแถบกว้างยิ่ง อยู่ต่ำกว่าระดับสัญญาณรบกวน (Part 15 limit) ดังนั้นเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง จึงสามารถใช้งานได้กับเทคโนโลยีคลื่นวิทยุอื่นโดยจะมีการแทรกสอดน้อย

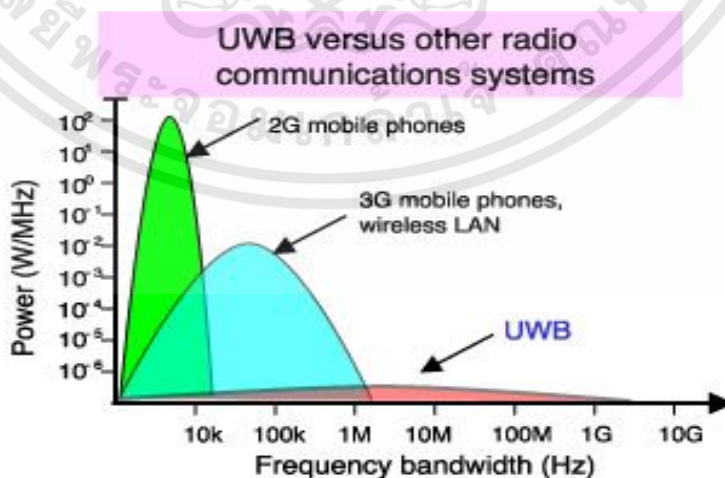
2.2 ระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง

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]

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

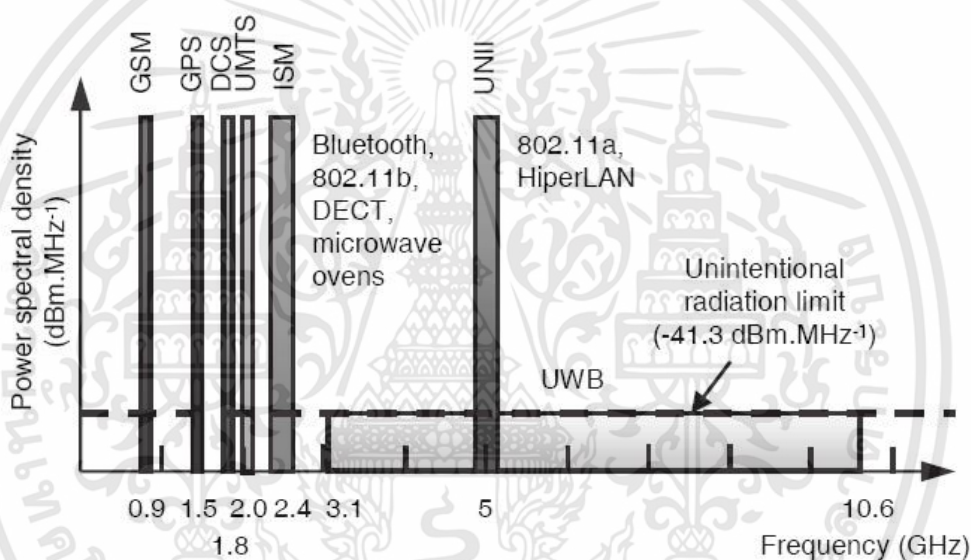


รูปที่ 2.1 การเปรียบเทียบแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนของระบบการสื่อสารแถบแคบและระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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



รูปที่ 2.2 การเปรียบเทียบความหนาแน่นสเปกตรัมของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง และ ระบบการสื่อสารแถบแคบอื่น ๆ

2.3 ข้อกำหนดของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง

สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ได้ถูกกำหนดขึ้นในระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง นั่นก็คือการจำกัดสรรความถี่ในการใช้งาน ซึ่งได้มีกลุ่มทำงานในสหรัฐอเมริกาได้พยายามทำการถอดถอนการจำกัดของข้อกำหนดในการใช้งานช่วงความถี่ของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง จากกฎข้อบังคับเดิมของ FCC โดยกลุ่มทำงานนี้ได้ก่อตั้งขึ้นอย่างเป็นทางการโดยใช้ชื่อว่า Ultra-Wideband Working Group (UWBWG) เพื่อทำการเจรจาท้าข้อตกลงร่วมกับ FCC เช่นเดียวกันกับในยุโรปก็ได้มีการหาข้อตกลงการคัดสรรคลื่นความถี่และการแทรกสอดของควมถี่วิทยุซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีข้อกำหนดแถบความถี่สำหรับการใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่ง ในสถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(European Telecommunications Standards Institute: ETSI) หรือ สหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union: ITU)

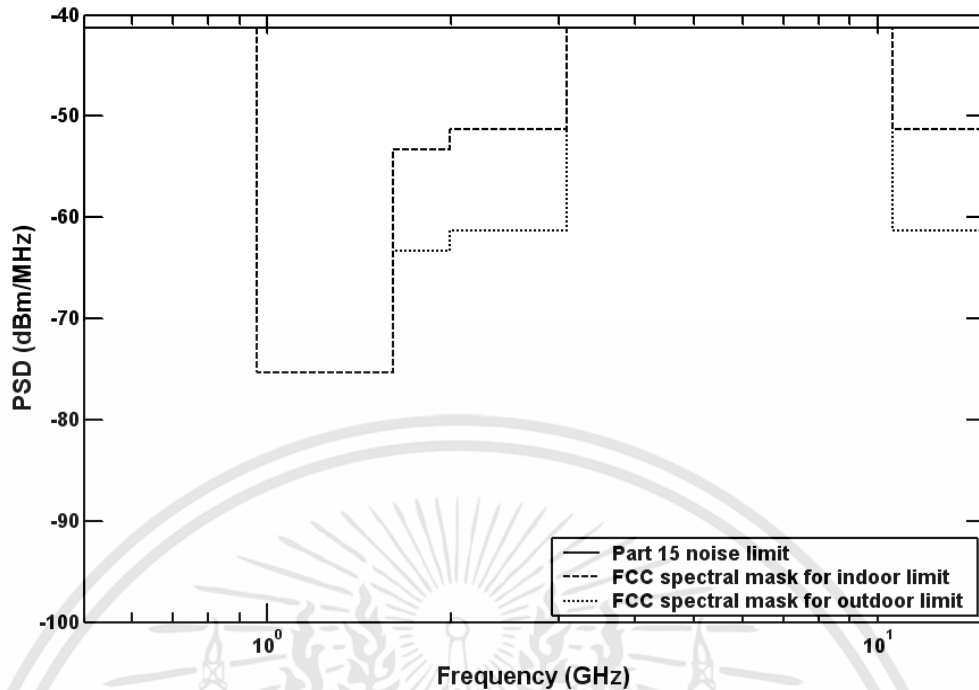
2.3.1 ข้อกำหนดของระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา

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

ตารางที่ 2.1 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC สำหรับการใช้งานในระบบการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมตามข้อกำหนด FCC สำหรับระบบการสื่อสาร แลกกว้างยิ่งภายในและภายนอกอาคาร

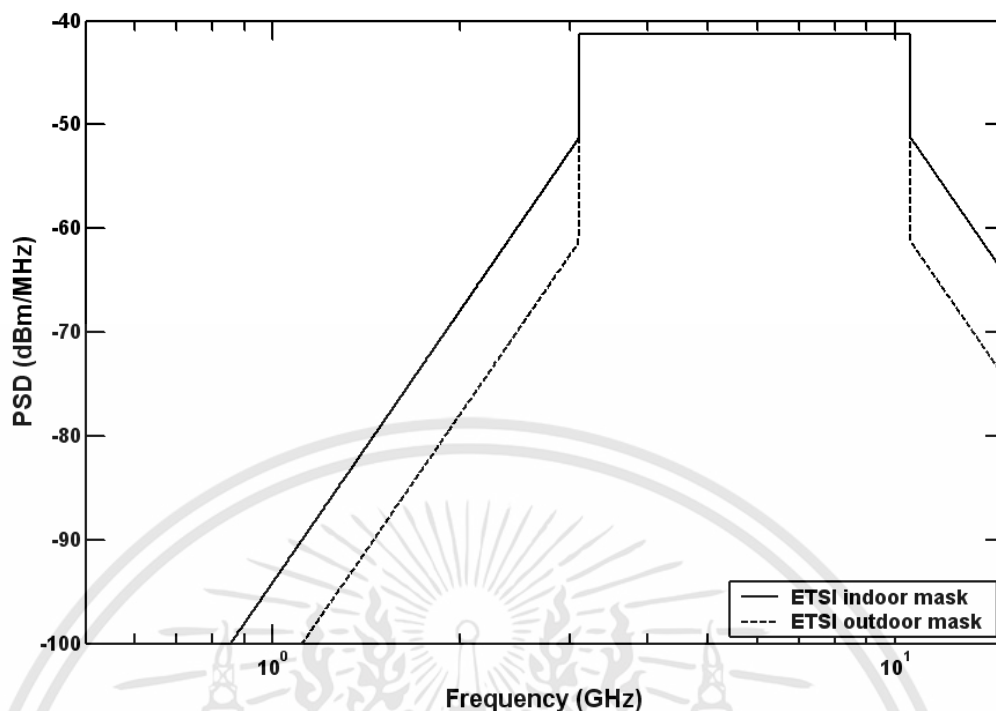
2.3.2 กฎข้อบังคับของระบบแลกเปลี่ยนยิ่ง ในยุโรป

ปัจจุบันโครงสร้างของข้อกำหนดระบบแลกเปลี่ยนยิ่ง ในทวีปยุโรปอยู่ในช่วงรอข้อมูลทางเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบของระบบแลกเปลี่ยนยิ่ง บนระบบเดิมที่มีใช้กันอยู่ โดยทางยุโรปนั้น บางส่วนของข้อกำหนดจะครอบคลุมกว่าของทางสหรัฐอเมริกา เพราะทางด้านยุโรปนั้นในส่วนของเทคโนโลยีใหม่ต้องแสดงให้เห็นว่า ส่งผลกระทบมาน้อยหรือไม่กับระบบเดิมที่มีอยู่โดยข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานสำหรับการใช้งานทั้งภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย ITU หรือ ETSI แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.2 [11]

ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



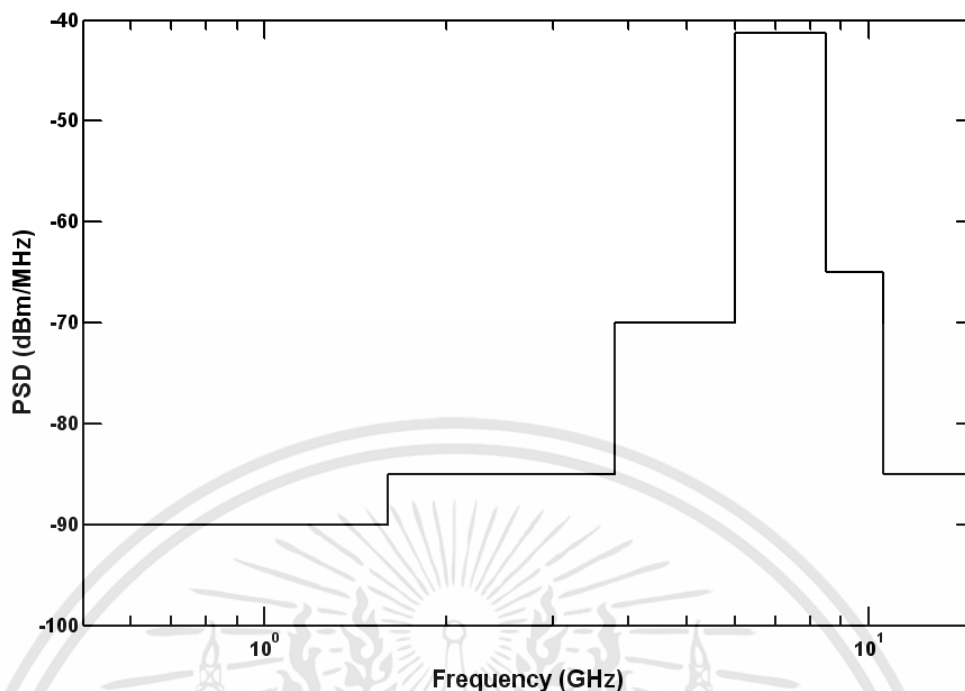
รูปที่ 2.4 ความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมตามข้อกำหนด ETSI สำหรับระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งภายในและภายนอกอาคาร

ปัจจุบันนี้ ETSI ได้กำหนดการแพร่กระจายกำลังงานและหน้าฉากสเปกตรัมอย่างชัดเจน กฎข้อบังคับของการแพร่กระจายของ PSD ที่ได้จัดทำขึ้นนี้อนุญาตให้ระบบการสื่อสารแถบกว้างยังสามารถใช้งานได้เฉพาะภายในอาคารเท่านั้น โดยมีช่วงแถบความถี่ใช้งานลดลงเป็น 6.0 GHz ถึง 8.5 GHz ดังแสดงในตารางที่ 2.3 [12]

ตารางที่ 2.3 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงานที่แก้ไขใหม่โดย ETSI สำหรับการใช้งานในของระบบการสื่อสารภายในอาคาร

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมตามข้อกำหนด ETS ที่แก้ไขใหม่ สำหรับระบบการสื่อสาร แลกกว้างยิ่งภายในอาคาร

2.3.3 กฎข้อบังคับของระบบแลกเปลี่ยนยิ่ง ในญี่ปุ่น

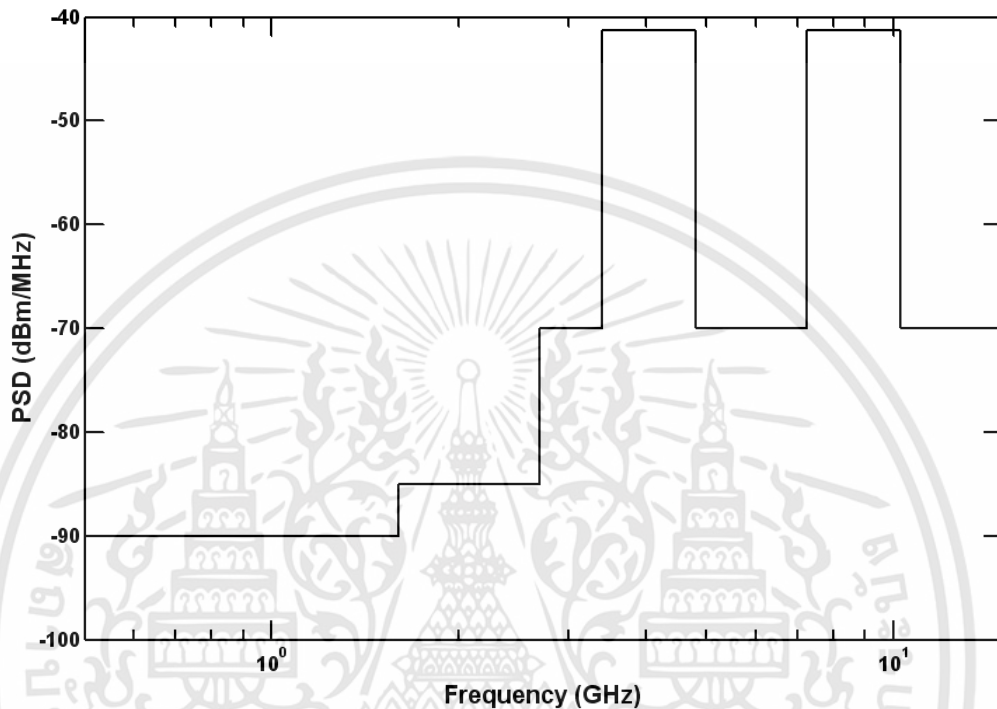
ข้อกำหนดระดับ PSD ที่แผ่กระจายออกมาที่กำหนดโดย MIC เป็นข้อกำหนดสำหรับระบบ แลกกว้างยิ่ง ที่ใช้ในประเทศญี่ปุ่น โดยเป็นข้อกำหนดที่อนุญาตให้ใช้ระบบแลกเปลี่ยนยิ่ง ได้ภายใน อาคารเท่านั้นเหมือนกับที่กำหนดโดย ETSI ที่ได้แก้ไขใหม่ โดยมีช่วงแถบความถี่ใช้งานสองแถบ คือ แถบความถี่ต่ำตั้งแต่ 3.4-4.8 GHz และแถบความถี่สูงตั้งแต่ 7.25-10.25 GHz ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.4 และกราฟสเปกตรัมมาร์คได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.4 [13]

ตารางที่ 2.4 ข้อกำหนดระดับ PSD ที่แผ่กระจายออกมาสำหรับการสื่อสารภายในอาคารเท่านั้นที่ กำหนดโดย MIC

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

ตารางที่ 2.4 (ต่อ)

7.25-10.25	-41.3
มากกว่า 10.25	-70



รูปที่ 2.6 ความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมสำหรับการสื่อสารภายในอาคาร ที่กำหนดโดย MIC

2.3.4 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่ง ที่ใช้ร่วมกัน

ปัจจุบันได้มีการร่วมมือกันระหว่างประเทศสหรัฐอเมริกา กลุ่มประเทศในยุโรป และประเทศญี่ปุ่น โดยมีการกำหนดให้ใช้ข้อกำหนดระดับ PSD ที่แผ่กระจายออกมาร่วมกัน 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]

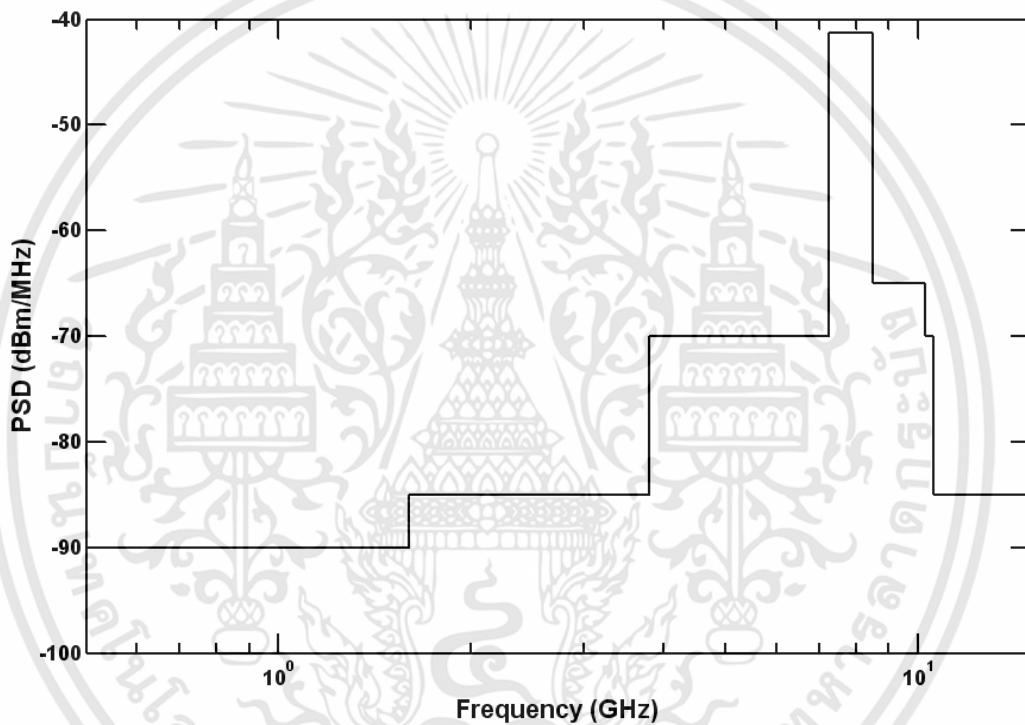
ตารางที่ 2.5 ข้อกำหนดระดับ PSD ที่แผ่กระจายออกมาสำหรับการสื่อสารภายในอาคารเท่านั้น ที่กำหนดโดย MIC

ความถี่ (GHz)	PSD (dBm/MHz)
น้อยกว่า 1.6	-90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 (ต่อ)

1.6-3.8	-85
3.8-7.25	-70
7.25-8.50	-41.3
8.5-10.25	-65
10.25-10.6	-70
มากกว่า10.6	-85



รูปที่ 2.7 ความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมสำหรับการสื่อสารภายในอาคาร ที่กำหนดร่วมกัน โดย FCC, ETSI และ MIC

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

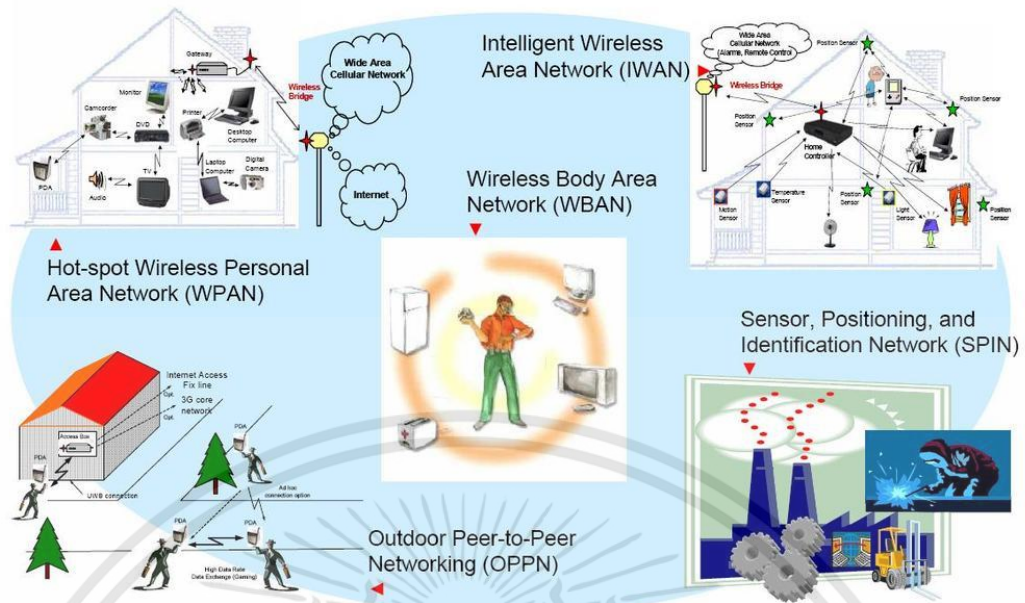
มาตรฐาน IEEE 802.15.3a ได้พยายามปรับปรุงอัตราการส่งของมาตรฐาน IEEE 802.15.3 ให้สูงขึ้นโดยการนำเอาเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง มาใช้ ซึ่งมีจุดประสงค์จะนำมาใช้กับ WPAN โดยมีระยะทางการใช้งานถึง 10 m ที่อัตราการส่งข้อมูล 110 Mbps และที่ระยะทางใกล้คือประมาณ 2 m สามารถมีอัตราส่งข้อมูลได้สูงถึง 480 Mbps [15] แต่เกิดปัญหาเนื่องจากไม่สามารถตกลงกันได้ว่าจะเลือกใช้เทคโนโลยีไหนระหว่างการใช้การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่ตั้งฉากหลายแถบ (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 สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับระบบโครงข่าย การตรวจจับไร้สาย 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 2.8 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์ประเภทต่าง ๆ สำหรับระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง [18]

จากรูปที่ 2.8 แสดงถึงการประยุกต์ใช้ในระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่กำลังได้รับความนิยม 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 โดยทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผสมผสานระหว่างความเร็วและความปลอดภัยของเทคโนโลยีแบบมีสาย เพื่ออำนวยความสะดวกและง่ายต่อการใช้งานสำหรับเทคโนโลยีไร้สาย WUSB ที่ใช้งานสำหรับระบบแถบกว้างยิ่ง ได้ถูกกำหนดโดย WiMedia ภายใต้มาตรฐาน IEEE 802.15.3a ซึ่งทำงานบนช่วงแถบความถี่ 3.1 GHz - 10.6 GHz

สมาคม WUSB ได้รองรับอัตราการส่งข้อมูลที่ 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) สัญญาณที่ไม่ใช่ไซน์ซุชอยด์ัล (Non-sinusoidal) สัญญาณที่ปราศจากคลื่นพาห์ (Carrier less) แถบกว้างยวดยิ่ง (Super Wideband) การอัดพัลส์แบบเอฟเอ็มอย่างรวดเร็ว (Fast Frequency Chirp) และพัลส์แบบโมนอ (Mono-pulse) ซึ่งเป็นระบบที่มีจุดเด่นที่น่าสนใจสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบสื่อสารอาทิ เช่น

- เป็นระบบที่มีความซับซ้อนน้อยและมีต้นทุนต่ำ

ความซับซ้อนน้อยและมีต้นทุนที่ต่ำของระบบแถบกว้างยิ่งเกิดขึ้นจากปัจจัยทางลักษณะเบสแบนด์ (Baseband) ของการส่งสัญญาณซึ่งไม่เหมือนกับระบบการส่งสัญญาณวิทยุแบบอื่นๆ โดยที่เครื่องส่งจะทำการสร้างสัญญาณพัลส์ในโดเมนทางเวลาที่มีความกว้างของสัญญาณน้อยมากๆ ซึ่งสามารถที่จะแพร่กระจายคลื่นออกไปโดยปราศจากการเพิ่มความถี่วิทยุหรือคลื่นพาห์รวมเข้าไป และในส่วนของ การรวมสัญญาณวิทยุ นั้นจะเป็นการนำเอาสัญญาณเบสแบนด์รวมเข้าไปกับคลื่นพาห์เพื่อย้ายสัญญาณไปยังแถบความถี่ที่มีคุณลักษณะในการแพร่กระจายคลื่นตามต้องการซึ่งสัญญาณจะถูกแพร่กระจายได้ดีโดยไม่ต้องอาศัยการแปลงความถี่ให้สูงขึ้น (Up-conversion) และการเพิ่มกำลังให้สูงขึ้น (Amplification) โดยในการแปลงความถี่ลง (Down-conversion) และตัวผลิตความถี่ (Local Oscillator) จึงไม่จำเป็นในเครื่องรับแบบแถบกว้างยิ่งด้วยเช่นกันทำให้ลดความซับซ้อนของระบบและต้นทุนในการผลิตลงไปมาก

- มีระดับของสัญญาณใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวน (Noise)

เนื่องจากความหนาแน่นของพลังงานต่ำและลักษณะเฉพาะในการสุ่มเทียม (Pseudo-random) ของสัญญาณส่งจึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนี้มีลักษณะคล้ายกับสัญญาณรบกวน ซึ่งทำให้การ

ตรวจหาสัญญาณทำได้ยากและยังปรากฏในเอกสารทางการวิจัยว่าการส่งสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนั้นไม่ก่อให้เกิดผลการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบคลื่นความถี่วิทยุอื่นๆ เนื่องจากสัญญาณของระบบแถบกว้างยิ่ง นั้น มีการแพร่กระจายกำลังงานในระดับต่ำประมาณระดับของสัญญาณรบกวน (Noise floor) จึงทำให้ระบบอื่นมองว่าสัญญาณแถบกว้างยิ่ง นี้ คือ สัญญาณรบกวนเลยถูกกำจัดออกจากการพิจารณาของระบบ

□ มีความต้านทานต่อคลื่นหลายวิถีและการรบกวนของสัญญาณใกล้เคียง

ในระบบการมอดูเลตทางเวลา (Time Modulation) แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะทำการส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงในระดับหลักร้อยเมกะบิตต่อวินาทีอีกทั้งยังได้ถูกประเมินในส่วนของจำนวนของผู้ใช้งานในระบบการสื่อสารแบบคลื่นวิทยุแบบอิมพัลส์ว่าได้จำนวนที่มากกว่าระบบทั่วไป และเนื่องด้วยมีแบนด์วิดท์ของสัญญาณส่งที่กว้างจึงทำให้ได้รับผลจากคลื่นหลายวิถีอย่างมาก เมื่อระบบมีแบนด์วิดท์ที่กว้างนั้นทำให้เกิดความแตกต่างทางความถี่อย่างมาก ซึ่งเมื่อรวมเข้ากับการส่งสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องจึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งที่มีการมอดูเลตทางเวลานั้นมีความต้านทานต่อการแพร่กระจายของคลื่นหลายวิถีที่รุนแรง และการรบกวนหรือแทรกสอดจากสัญญาณความถี่ใกล้เคียงได้

□ มีความละเอียดสูงในโดเมนเวลาสำหรับการกำหนดตำแหน่งและการประยุกต์ใช้ในระบบติดตาม (Tracking)

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

2.6 สรุป

สำหรับในบทนี้ได้กล่าวถึงประวัติความเป็นมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ข้อดีและจุดเด่นต่างๆ ที่น่าสนใจของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งสำหรับประยุกต์ใช้กับระบบการสื่อสารไร้สาย เช่น ราคาต้นทุนต่ำ มีความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมต่ำ ต้านทานต่อคลื่นหลายวิถี และมีความละเอียดสูงในโดเมนเวลา เป็นต้น โดยที่ FCC ได้กำหนดให้สัญญาณที่ใช้ส่งของระบบแถบกว้างยิ่ง มีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนมากกว่าหรือเท่ากับ 0.2 หรือมีแบนด์วิดท์มากกว่าหรือเท่ากับ 500 MHz นอกจากนี้ยังมี การร่วมมือกันขององค์กรกลุ่มประเทศสหรัฐอเมริกา กลุ่มประเทศในยุโรป และประเทศญี่ปุ่น ออกกฎข้อบังคับเพื่อเป็นหลักฐานในการพิสูจน์ว่าสัญญาณแถบกว้างยิ่ง ที่นำมาใช้งานไม่ไปรบกวนหรือแทรก

สอดระบบการสื่อสารแถบแคบอื่น ๆ ในส่วนสุดท้ายของเนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงมาตรฐานของระบบ แถบกว้างยิ่ง ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 มาตรฐานด้วยกันดังนี้ มาตรฐาน IEEE 802.15.3a สำหรับอัตราการ ส่งข้อมูลที่สูง มาตรฐาน IEEE 802.15.4a สำหรับอัตราการส่งข้อมูลที่ต่ำ และมาตรฐาน IEEE 802.15.6 สำหรับระบบ WBAN



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การวิเคราะห์สมรรถนะระบบสายอากาศสำหรับการ การประยุกต์ใช้ในแถบความถี่ร่วมร่วม

3.1 บทนำ

ในการวิเคราะห์สมรรถนะสายอากาศสำหรับส่งผ่านแถบกว้างยิ่ง มีความสำคัญอย่างมาก เพราะว่าส่งสัญญาณแบบพัลส์ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการสื่อสารระยะสั้น มีอัตราการรับส่งข้อมูลที่สูง และเป็น การสื่อสารแบบไร้สายที่มีกำลังส่งต่ำ ในการลดการแทรกสอดที่เกิดขึ้นในระบบแถบกว้างยิ่ง มีความคาดหวังว่ามาใช้กับสถานะแวดล้อมภายในอาคารเป็นหลัก

ในระบบแบบแถบแคบ ค่าการเชื่อมโยงของการสูญเสียการแพร่กระจายในอวกาศว่างปกติถูกประเมินค่าโดยสูตรการส่งผ่านของฟรีส [19] แต่เราไม่สามารถที่จะนำมาใช้ได้โดยตรงกับระบบการส่งผ่านแถบกว้างยิ่ง ดังที่มีการแสดงด้วยฟังก์ชันของความถี่ ยิ่งไปกว่านั้นรูปคลื่นอาจเกิดความผิดเพี้ยนเนื่องจากคุณสมบัติความถี่ของสายอากาศ [20]-[21] ซึ่งเป็นกรณีพิเศษที่มีอัตราการขยายคงที่และอะเพอร์เจอร์คงที่ แต่ไม่มีการกล่าวถึง ถึงแม้จะมีการแนะนำเกี่ยวกับการใช้ความยาวของสายอากาศนี้ในทางโดเมนเวลา

3.2 แบบจำลองการส่งผ่านระบบแถบกว้างยิ่ง

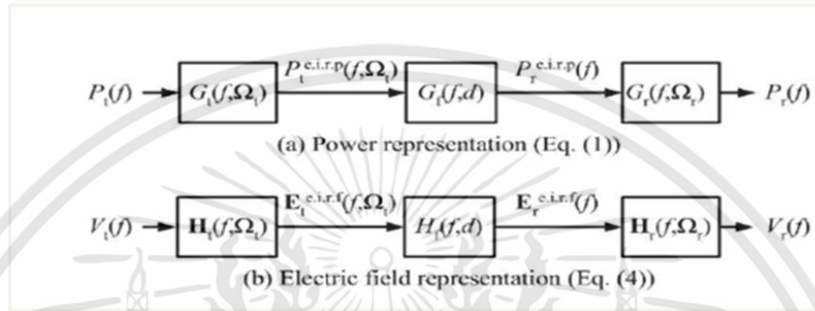
สูตรการส่งผ่านของฟรีสได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวาง และสามารถประยุกต์ใช้ในการคำนวณสำหรับช่องสัญญาณในระดับสายตา ครั้งนี้ด้วย

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

เมื่อ f เป็นความถี่ที่ใช้งาน d เป็นระยะทางระหว่างสายอากาศ Tx และ Rx $P_t(f)$ และ $P_r(f)$ เป็นกำลังอินพุตเข้าไปยังสายอากาศ Tx และกำลังเอาต์พุตออกจากสายอากาศ Rx ตามลำดับ $G_t(f, \Omega_t)$ และ $G_r(f, \Omega_r)$ เป็นอัตราขยายประสิทธิผลของสายอากาศ Tx และ Rx ตามลำดับ $G_f(f, d)$ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 เป็นอัตราขยายการแพร่กระจายอวกาศว่าง และ $\eta_p(f)$ เป็นประสิทธิภาพการแมตช์โพลาริซ และอัตราการแพร่กระจายในอวกาศว่างสามารถเขียนได้เป็น

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

เมื่อ c เป็นความเร็วแสง



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของการถ่ายโอนสายอากาศสำหรับแถบความถี่ร่วม [19]

สำหรับระบบแถบกว้างยิ่ง การเชื่อมโยงอวกาศว่างถูกทำให้เป็นสูตรในเทอมของฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ที่พิจารณารูปคลื่นส่ง ความเพี้ยนที่เกิดจากสายอากาศ ช่องสัญญาณ และเครื่องรับ สหสัมพันธ์ ฟังก์ชันถ่ายโอนอวกาศว่าง $H_f(f, d)$ สามารถเขียนได้เป็น

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

ฟังก์ชันถ่ายโอนช่องสัญญาณอวกาศว่าง $H_c(f)$ ที่ได้รวมสายอากาศเข้าไปได้จากการใช้การขยายสูตรการส่งผ่านของฟรีสเป็น

$$H_c(f) = H_f(f, d) H_t(f, \Omega_t) \cdot H_r(f, \Omega_r) \quad (3.4)$$

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งมีความสัมพันธ์เป็น

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

เมื่อ η_a เป็นประสิทธิภาพสายอากาศ ดังนั้น คำนีจึงถูกนอร์มัลไลซ์ด้วยสายอากาศไอโซทรอปิก เวกเตอร์หนึ่งหน่วย $\hat{\theta}_a$ และ $\hat{\varphi}_a$ แสดงการโพลาไรซ์และถูกนิยามเทียบกับพิกัดทรงกลมของแต่ละสายอากาศ ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้เป็น

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

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

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

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

ฟังก์ชันถ่ายโอนเชิงซ้อนของสายอากาศ Tx และ Rx สามารถเขียนได้เป็น

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

รูปคลื่นอินพุตเครื่องรับ $v_r(t)$ ถูกกำหนดโดย

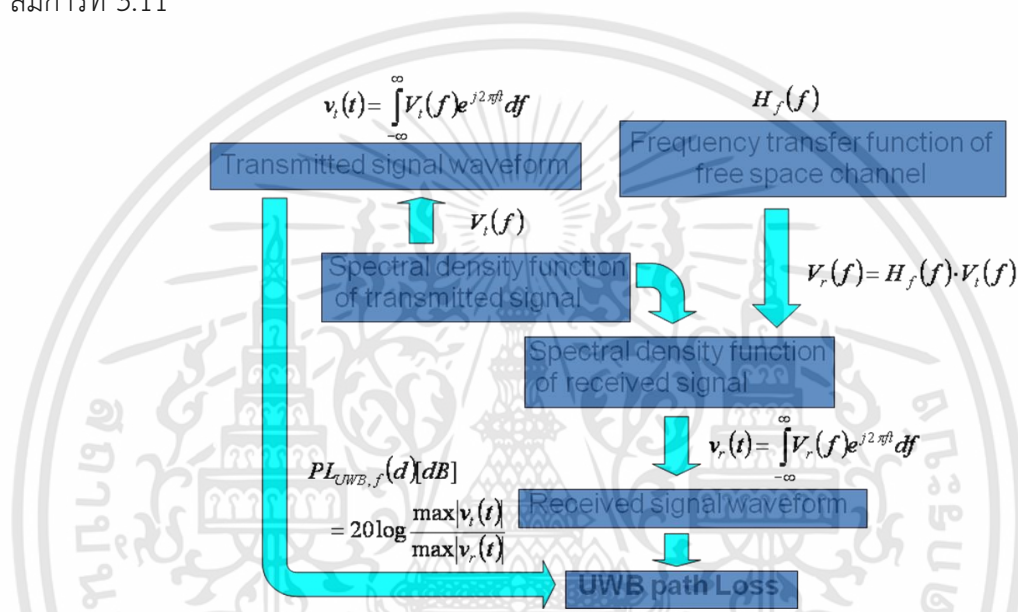
$$v_r(t) = \int_{-\infty}^{\infty} H_c(f) V_t(f) e^{j2\pi ft} df \quad (3.10)$$

เมื่อ $V_t(f)$ เป็นสเปกตรัมของรูปคลื่นส่ง

3.3 การสูญเสียเชิงวิถี

การสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) เป็นการลดทอนของสัญญาณที่แปรตามระยะทางระหว่างภาคส่งและภาครับโดยที่ค่าเฉลี่ยกำลังของสัญญาณจะลดลงตามค่า d^{-n} โดย d คือ ระยะทางระหว่างภาคส่งและภาครับ ส่วน n เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งมีขนาดแตกต่างกันไปตามสภาพของบริเวณที่สัญญาณส่งผ่าน [2] โดยค่าการสูญเสียเชิงวิถีนั้นอาจจะเกิดขึ้นเนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ

ในระบบสื่อสารไร้สาย สัญญาณที่กำเนิดขึ้นจากภาคส่งที่จะต้องนำไปป้อนเข้าสายอากาศ เพื่อแปลงสัญญาณไฟฟ้าไปเป็นสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic) สำหรับแพร่กระจาย ผ่านช่องสัญญาณซึ่งโดยทั่วไปก็คืออากาศ เมื่อสัญญาณเดินทางมาถึงภาครับก็จะมีสายอากาศรับ สัญญาณซึ่งทำหน้าที่กลับกันจากภาคส่ง คือทำการแปลงสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากลับไปเป็น สัญญาณไฟฟ้าอีกครั้ง ในการส่งคลื่นสัญญาณผ่านอวกาศว่างนั้น มักจะนิยามให้ค่าการสูญเสียเชิงวิถี ในอวกาศว่าง (Free space path loss) มีค่าเป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังงานของสัญญาณที่ถูกส่งต่อ กำลังงานของสัญญาณที่รับได้โดยทั่วไปมักจะแสดงให้อยู่ในหน่วยของเดซิเบล (Decibel) ดังแสดงใน สมการที่ 3.11



รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมของการสูญเสียในการส่งผ่านสำหรับแถบความถี่ร่วม [21]

$$PL[dB] = 20 \log \left(\frac{v_t(t)}{v_r(t)} \right) \tag{3.11}$$

โดยที่

v_t คือ ระดับสัญญาณที่ใช้ส่ง

v_r คือ ระดับสัญญาณที่รับได้

โดยในการวิเคราะห์ค่าสูญเสียเชิงวิถีดังแสดงในรูป 3.2 สำหรับระบบแถบกว้างยิ่ง PL_{UWB} นั้นจะพิจารณาที่กำลังงานสูงสุดของสัญญาณที่ใช้ส่งและกำลังสูงสุดของสัญญาณที่รับได้ซึ่งเป็น ฟังก์ชันของระยะทาง (d) โดยมีนิยามเป็นไปตามสมการที่ 3.12 และ 3.13 ตามลำดับ

$$PL[dB] = 20 \log \left[\frac{\max |v_t(t)|}{\max |v_r(t, d)|} \right] \quad (3.12)$$

โดยในสมการที่ 3.13 ได้กำหนดให้ขนาดของสัญญาณที่ใช้ส่งมีค่าเท่ากับ 1 ดังนั้นสามารถจัดสมการใหม่ได้ดังนี้

$$PL_{UWB}(d)[dB] = -20 \log[\max |v_r(t, d)|] \quad (3.13)$$

3.4 เครื่องรับสหสัมพันธ์

3.4.1 เครื่องรับสหสัมพันธ์ด้วยสัญญาณที่รับได้

จากเครื่องรับสหสัมพันธ์ที่แสดงในรูปที่ 3.3 SNR เอาต์พุตจะขึ้นอยู่กับ การเลือกรูปคลื่นต้นแบบ ดังนั้น เอาต์พุตของเครื่องรับสหสัมพันธ์ $v_o(\tau)$ แสดงได้เป็น

$$v_o(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v_r(t) h_w(t - \tau) dt \quad (3.14)$$

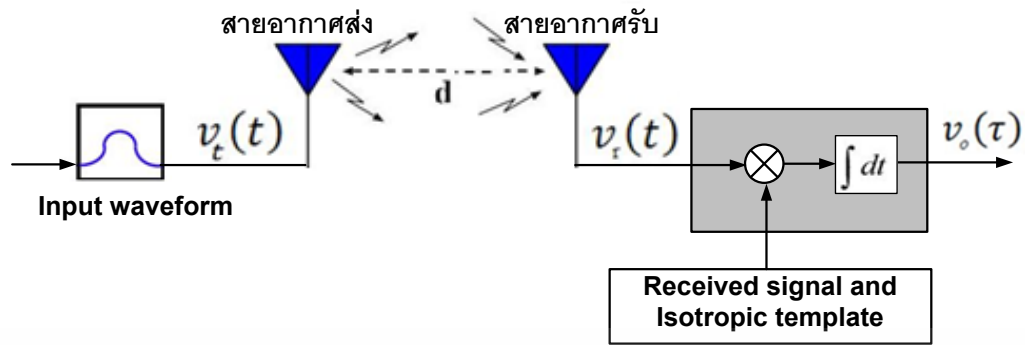
เมื่อ $h_w(t)$ เป็นรูปคลื่นต้นแบบ และ τ สอดคล้องกับการทำเวลาของรูปคลื่นต้นแบบ การทำเวลาที่เหมาะสมที่สุด τ_0 ถูกเลือกเป็น

$$\tau_0 = \arg[\max |v_o(\tau)|] \quad (3.15)$$

ต่อจากนี้ไป $h_w(t)$ จะถูกนอร์มัลไลซ์เป็น

$$\int_{-\infty}^{\infty} |h_w(t)|^2 dt = 2B \quad (3.16)$$

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



รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมการจำลองการวิเคราะห์สมรรถนะสายอากาศสำหรับแถบกว้างยิ่ง [20-21]

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

$$h_{wm}(t) = \frac{\sqrt{2Bv_r(\tau_o - t)}}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |v_r(t)|^2 dt}} \quad (3.17)$$

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

3.4.2 เครื่องรับหสัมพันธ์ด้วยสัญญาณไอโซทรอปิก

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

$$h_{wc}(t) = \frac{\sqrt{2Bv_{r-iso}(\tau_o - t)}}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |v_{r-iso}(t)|^2 dt}} \quad (3.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

$$v_{r\text{-iso}}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} H_r(f, d) V_r(f) e^{j2\pi ft} df \quad (3.19)$$

3.5 ความเพี้ยนของรูปคลื่น

ความเพี้ยนของรูปคลื่น W ถูกพิจารณาในเทอมของความเพี้ยนระหว่างรูปคลื่นที่รับได้กับรูปคลื่นที่รับได้ในกรณีสายอากาศไอโซทรอปิกถูกใช้ทั้งสองด้าน ซึ่งสามารถเขียนได้เป็น

$$W = 1 - \frac{\max_{\tau} \left| \int_{-\infty}^{\infty} v_r^*(t) v_{r\text{-iso}}(t + \tau) dt \right|}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |v_r(t)|^2 dt \int_{-\infty}^{\infty} |v_{r\text{-iso}}(t)|^2 dt}} \quad (3.20)$$

เมื่อ * เป็นตัวดำเนินการสังยุคเชิงซ้อน $v_r(t)$ เป็นรูปคลื่นที่รับได้ในโดเมนเวลาและสามารถหาได้จากการแปลงฟูริเยร์ย้อนกลับของความหนาแน่นสเปกตรัม

$$v_r(t) = \int_{-\infty}^{\infty} V_r(f) e^{j2\pi ft} df \quad (3.21)$$

ปริมาณนี้มีค่าเท่ากับ 0 เมื่อสองรูปคลื่นเหมือนกัน และมีค่าลดลงเมื่อรูปคลื่นมีความแตกต่างกันมากขึ้น

3.6 อัตราขยายการส่งผ่าน

อัตราขยายการส่งผ่านในวิทยานิพนธ์นี้ นิยามเป็นแอมพลิจูดค่ายอดของเอาต์พุตเครื่องรับ สหสัมพันธ์ที่ใช้สายอากาศที่พิจารณานอร์แมลไลซ์ด้วยแอมพลิจูดค่ายอดของเอาต์พุตเครื่องรับ สหสัมพันธ์ที่ใช้สายอากาศไอโซทรอปิกทั้งสองด้าน จากการทำนอร์แมลไลซ์ของรูปคลื่นต้นแบบในสมการที่ (3.19) และ (3.20) ค่าอัตราขยายนี้แสดงอัตราขยายของอัตรา SNR ดังนั้น อัตราขยายการส่งผ่านของกรณีต้นแบบสัญญาณที่รับได้ G_{wm} ในหน่วย dBi สามารถเขียนได้เป็น

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทำนองเดียวกัน อัตราขยายการส่งผ่านของกรณีต้นแบบไอโซทรอปิก G_{wc} ในหน่วย dBi สามารถเขียนได้เป็น

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

ความแตกต่างกันระหว่างอัตราขยายการส่งผ่านของกรณีต้นแบบสัญญาณที่รับได้และกรณีต้นแบบไอโซทรอปิกยังแสดงถึงปริมาณความเพี้ยนของรูปคลื่น ซึ่งแตกต่างจากสูตรการส่งผ่านของพริสแบบดั้งเดิมโดยที่อัตราการส่งผ่านที่เหมาะสมที่สุดของสัญญาณแถบกว้างยิ่ง ไม่สามารถแสดงเป็นนิยามอย่างง่ายโดยการคูณกันของอัตราขยายของสายอากาศ

3.7 รูปคลื่นสัญญาณการส่งผ่านของแถบความถี่ร่วม

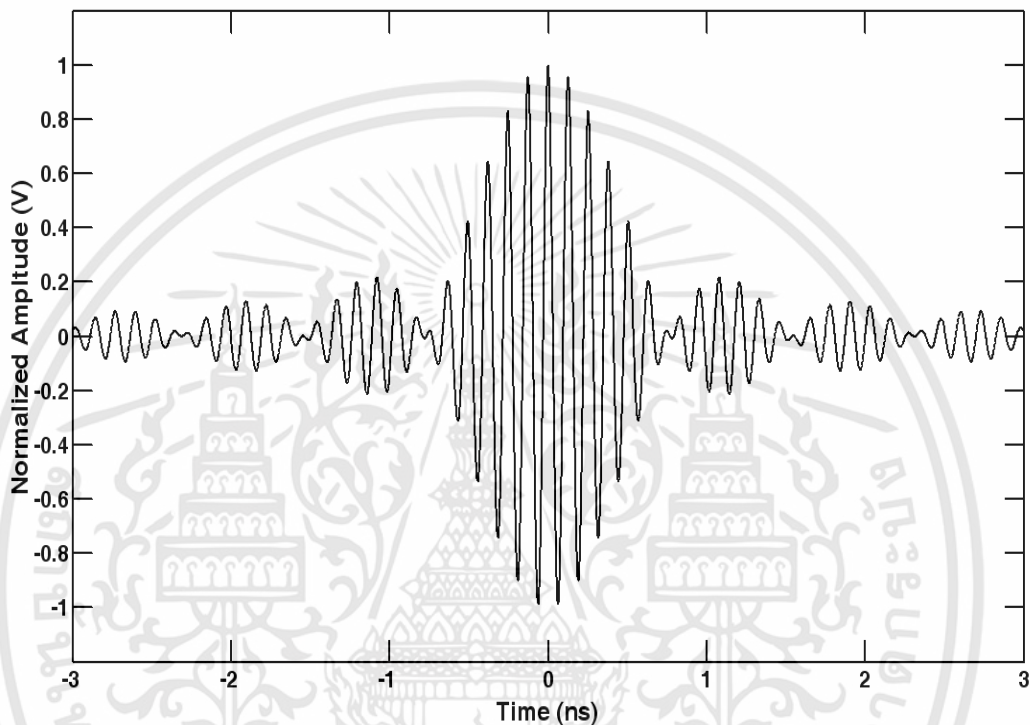
สำหรับผลกระทบของความเพี้ยนสัญญาณรูปคลื่นจะเห็นได้ชัดมากขึ้นเมื่อแบนด์วิดท์กว้างมากขึ้น ดังนั้น จึงได้ทำการพิจารณารูปคลื่นที่ครอบคลุมแถบความถี่ทั้งหมดของ FCC นั่นคือ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ซึ่งใช้เป็นแถบความถี่อ้างอิง และแถบความถี่ร่วมระหว่าง FCC ของสหรัฐอเมริกา การประชุมสหภาพยุโรปของคณะบริหารไปรษณีย์และโทรคมนาคม/คณะกรรมการการสื่อสารอิเล็กทรอนิกส์ (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations/Electronic Communications Committee: CEPT/ECC) ของยุโรป และกระทรวงมหาดไทยและการสื่อสาร (Ministry of Internal Affairs and Communications: MIC) ของญี่ปุ่น นั่นคือ 7.25 GHz ถึง 8.5 GHz รูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของไรซ์โคชานน์ ฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัม $V_{t,ro}$ แสดงได้ดังนี้

$$V_{t,ro}(f) = \begin{cases} 1 & \|f - f_c\| \leq \frac{1-\beta}{2T} \\ A \frac{(1-\beta)}{2T} < \|f - f_c\| \leq \frac{(1+\beta)}{2T} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (3.26)$$

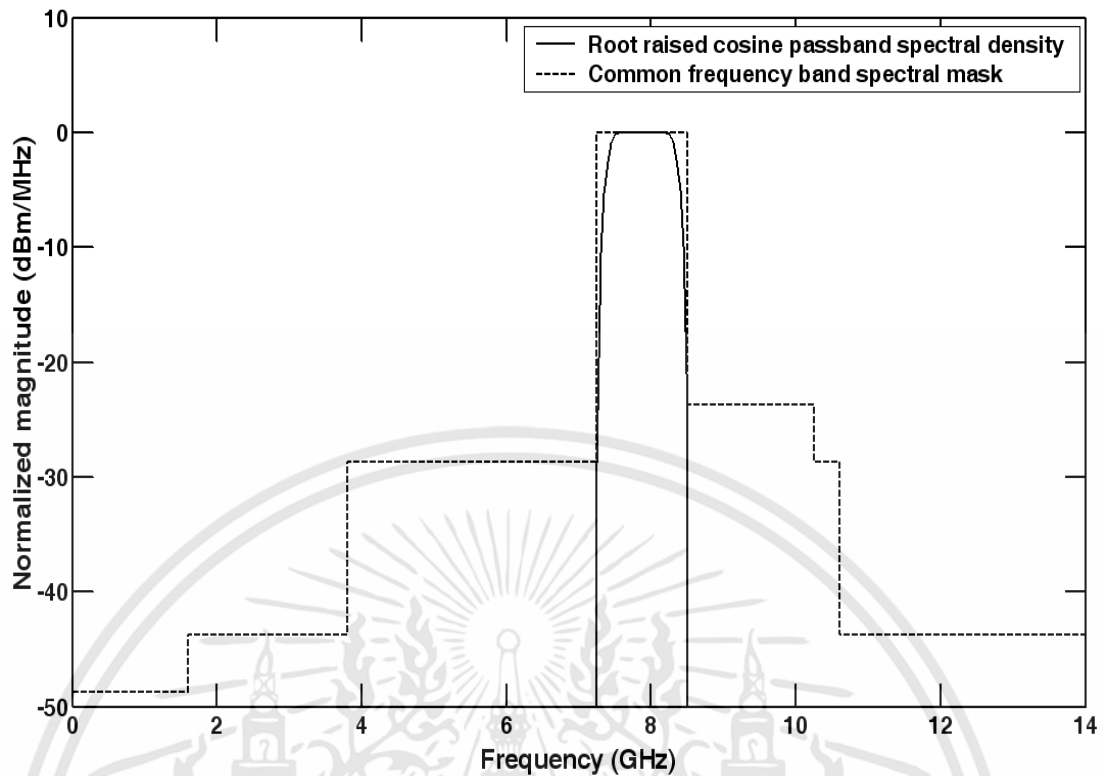
เมื่อ

$$A = \sqrt{\frac{1}{2} \left[1 + \cos \left(\frac{\pi T}{\beta} \left[\|f - f_c\| - \frac{1-\beta}{2T} \right] \right) \right]}, \quad (3.27)$$

$T = 1/f_b$ เป็นส่วนกลับของอัตราสัญลักษณ์ f_b เป็นสเปกตรัมแบนด์วิดท์ f_c เป็นความถี่กลาง $\beta = 0.3$ เป็นเฟคเตอร์ลาดเอียง ซึ่งได้พิจารณาเป็นไปตามเงื่อนไขข้อกำหนดสเปกตรัมมาสก์ (Spectrum mask) ความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมของสัญญาณส่งตามข้อกำหนดของ FCC สำหรับแถบความถี่รวม แสดงดังรูปที่ 3.4 และ 3.5 ตามลำดับ



รูปที่ 3.4 รูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของโรซีโคชานน์ที่ถูกนอร์มัลไลซ์เป็นไปตามสเปกตรัมมาสก์ของแถบความถี่รวม



รูปที่ 3.5 ความหนาแน่นสเปกตรัมที่ถูกนอร์มัลไลซ์ของรูปคลื่นแถบผ่านรอกที่สองของโรซีโคซายน์ที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาสก์แถบความถี่ร่วม

3.8 สรุป

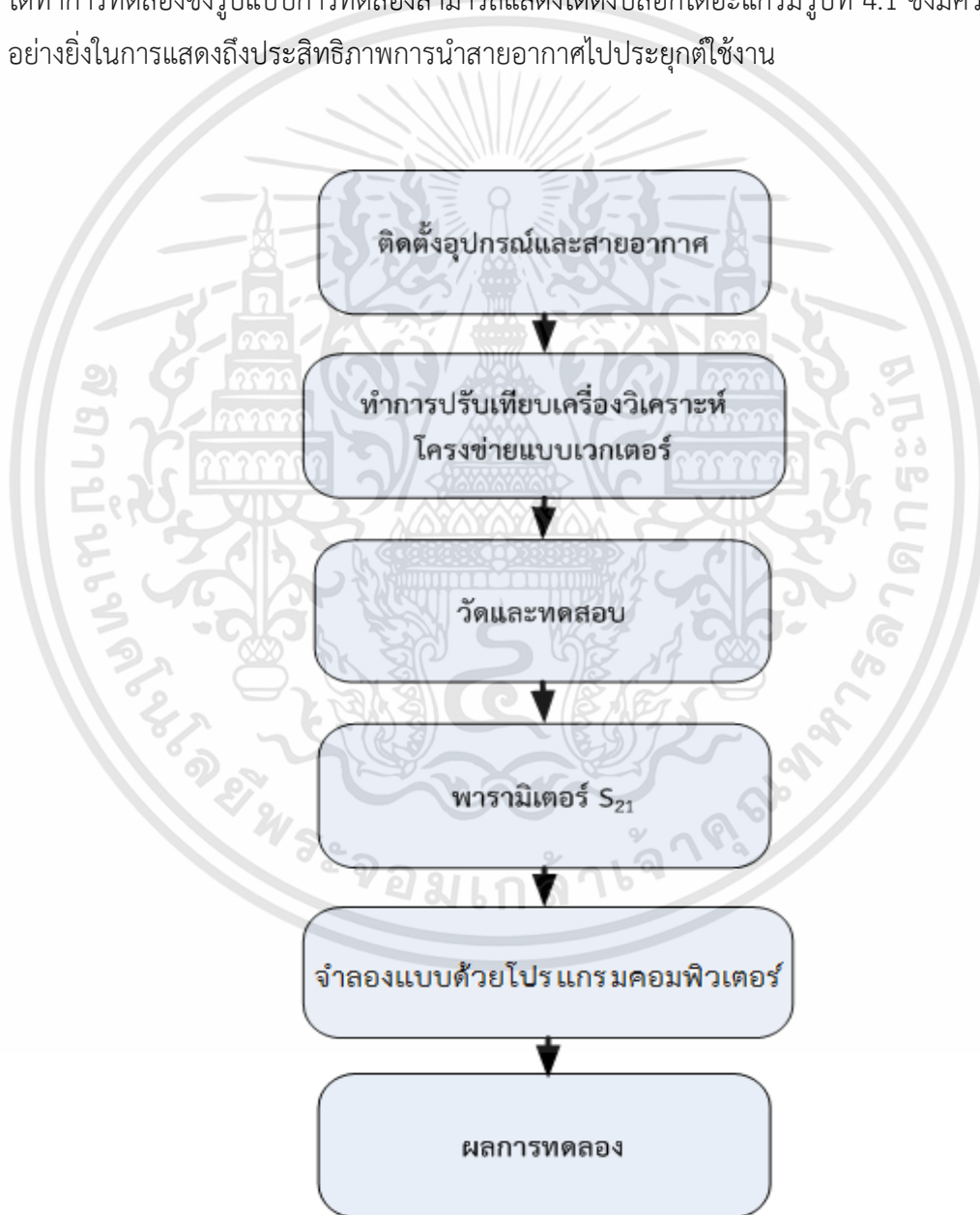
บทที่ 3 ได้กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการที่ใช้ในการวิเคราะห์ช่องสัญญาณการส่งผ่านและสมรรถนะของสายอากาศสำหรับระบบแถบกว้างยิ่ง โดยจะแบ่งหัวข้อย่อยออกเป็นส่วนต่าง ๆ ดังนี้ ในส่วนเริ่มต้นกล่าวถึงทฤษฎีการประยุกต์ใช้สูตรการส่งผ่านสัญญาณของพรีสสำหรับระบบการส่งผ่านสัญญาณแถบกว้างยิ่ง จากนั้นได้นำเสนอทฤษฎีและวิธีการใหม่ ซึ่งอาจมีสาเหตุที่เกิดจากขนาดและเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณ และได้นิยามสมการใหม่เพื่อปริมาณของความเพี้ยนสัญญาณที่เกิดขึ้นในระบบ ในส่วนภาครับผู้วิจัยนี้ได้พิจารณาใช้เครื่องรับสหสัมพันธ์ที่เหมาะสมที่สุดด้วยรูปคลื่นต้นแบบจากสัญญาณที่รับได้และเปรียบเทียบกับรูปคลื่นต้นแบบกรณีที่ใช้สายอากาศไอโซทรอปิก ต่อมาได้มีการหาความเพี้ยนของรูปคลื่น หลังจากนั้นก็ทำการหาอัตราขยายการส่งผ่านของระบบแถบกว้างยิ่ง ส่วนสุดท้ายได้กล่าวถึงทฤษฎีรูปคลื่นสัญญาณส่งแถบกว้างยิ่ง ตามข้อกำหนดของ FCC เพื่อใช้สำหรับการส่งผ่านแถบความถี่ร่วม

บทที่ 4

การทดลองวิจัยของการถ่ายโอนสายอากาศแถบความถี่ร่วม ด้วยความผิดเพี้ยนเนื่องจากสายอากาศ

4.1 บทนำ

ในบทนี้กล่าวถึงแบบแผนการทดลองวิจัยและทดลองการผิดเพี้ยนเนื่องจากสายอากาศ โดยได้ทำการทดลองซึ่งรูปแบบการทดลองสามารถแสดงได้ดังบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 4.1 ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งในการแสดงถึงประสิทธิภาพการนำสายอากาศไปประยุกต์ใช้งาน



รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมการทดลองการวัดช่องสัญญาณการผิดเพี้ยนเนื่องจากสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งในบทนี้เป็นการนำเสนอแบบแผนการวัดและแบบแผนการทดลอง โดยได้ทำการวัดในห้องไร้การสะท้อน ที่มหาวิทยาลัย Tokyo Institute of Technology ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการประเมินประสิทธิภาพสายอากาศสองชนิดคือ สายอากาศแบบกรวยคู่และสายอากาศไดโพลรายคาบล็อก ซึ่งสายอากาศทั้งสองที่ใช้เป็นสายอากาศที่มีแบนด์วิดท์ที่ตอบสนองต่อความถี่ย่านแถบกว้างยิ่งคือตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz โดยรายละเอียดขั้นตอนการทดลองสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

4.2 ขั้นตอนในการเตรียมการทดลอง

4.2.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์

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

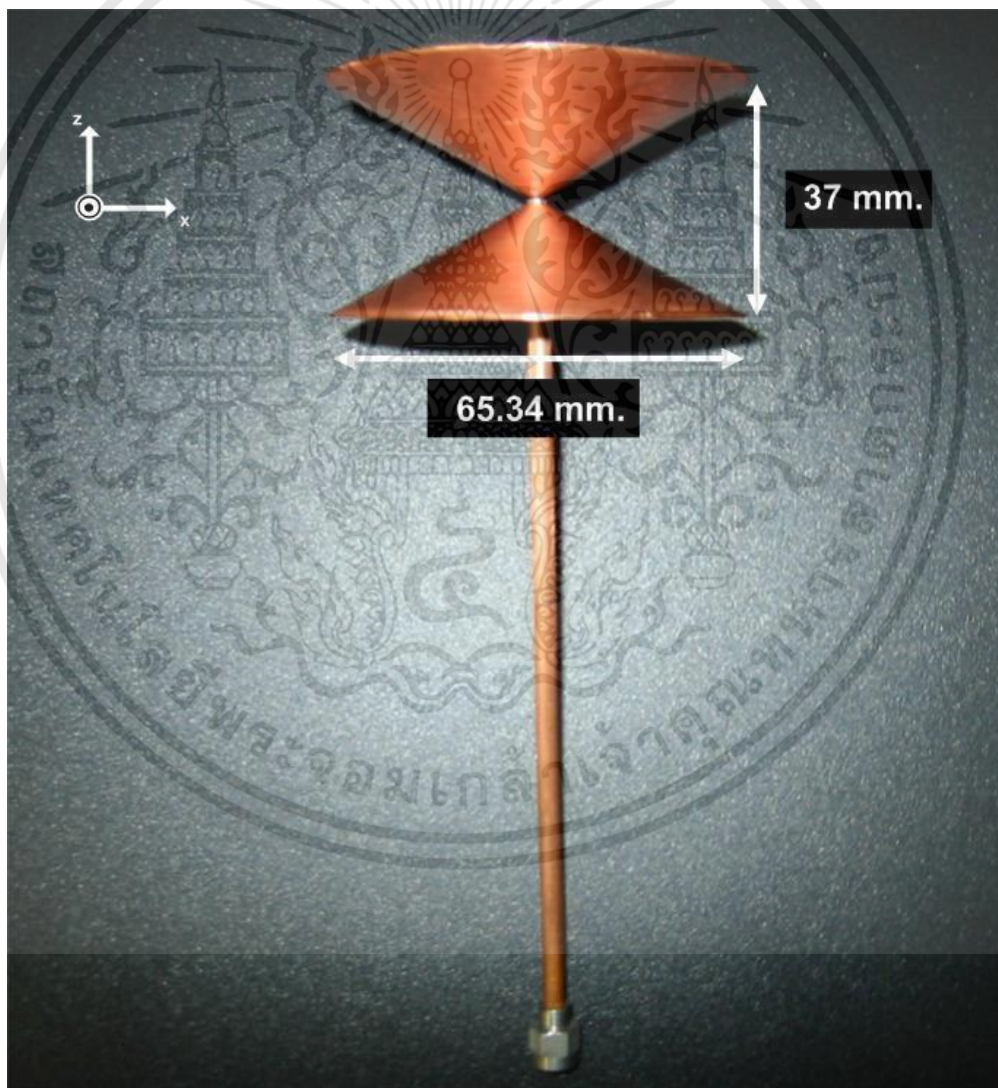


รูปที่ 4.2 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ (Vector Network Analyzer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

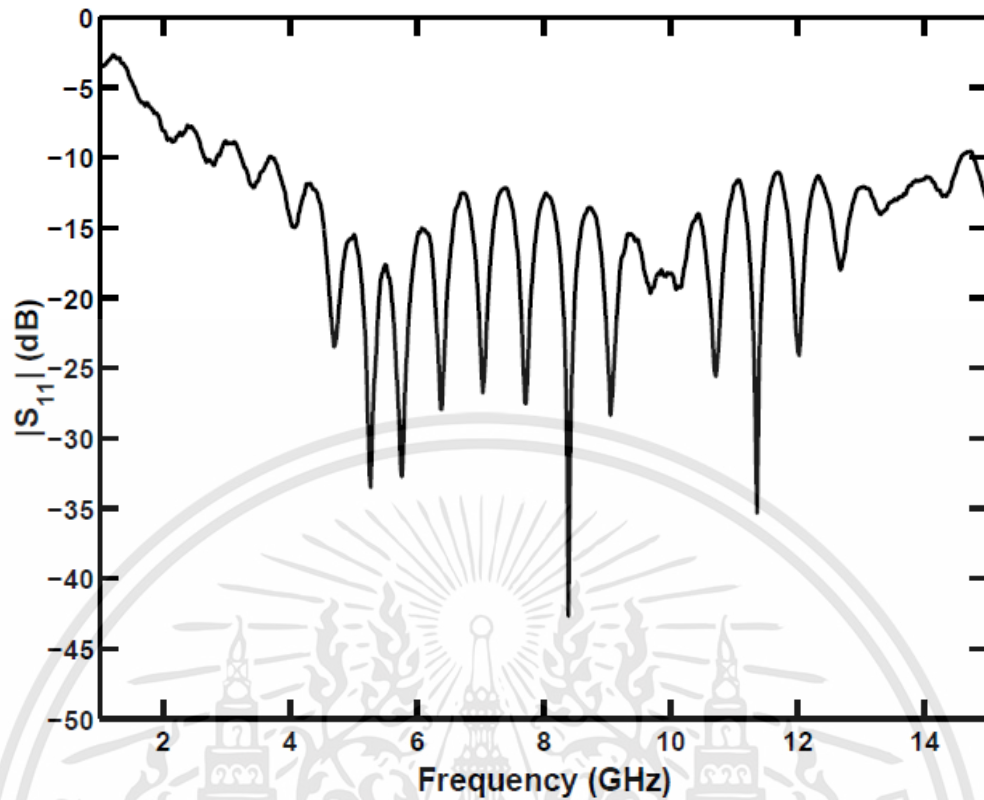
4.2.2 สายอากาศแบบกรวยคู่ (Biconical antenna)

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

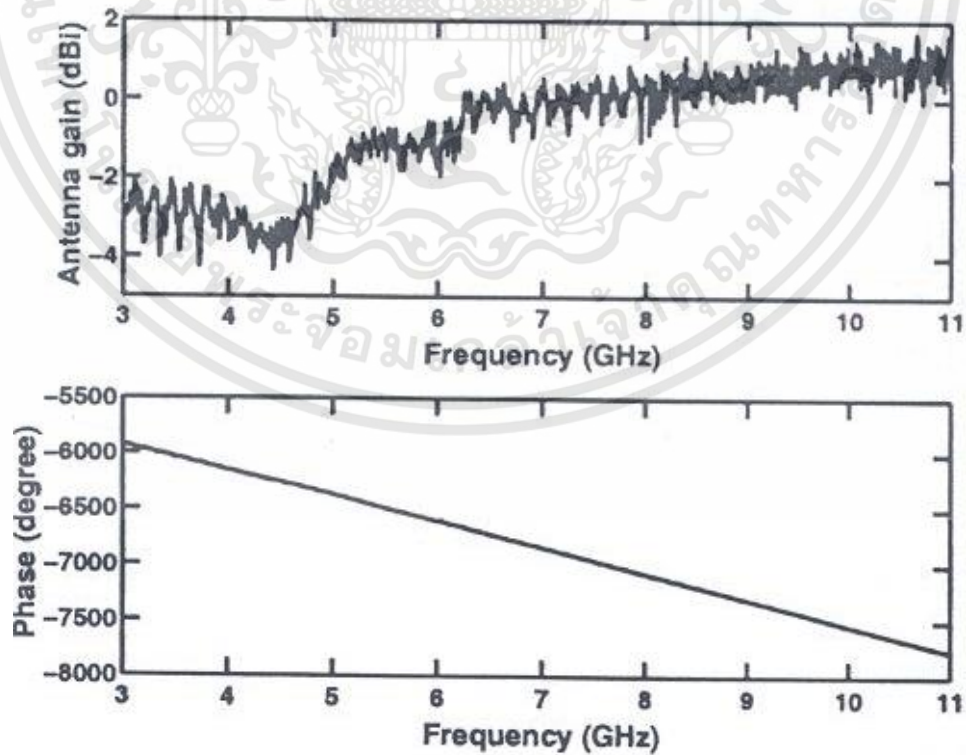


รูปที่ 4.3 โครงสร้างและขนาดของสายอากาศกรวยคู่ที่ใช้ในการทดลองวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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

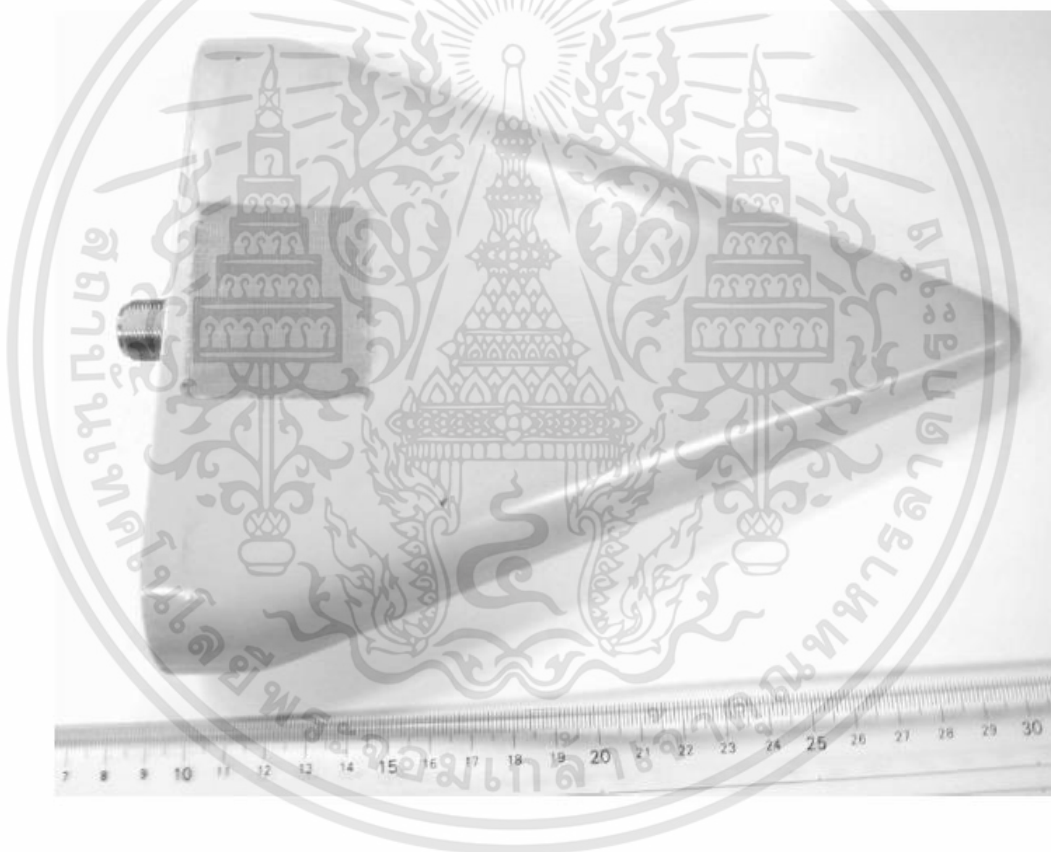


รูปที่ 4.5 อัตราขยายและเฟสของสายอากาศแบบกรวยคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

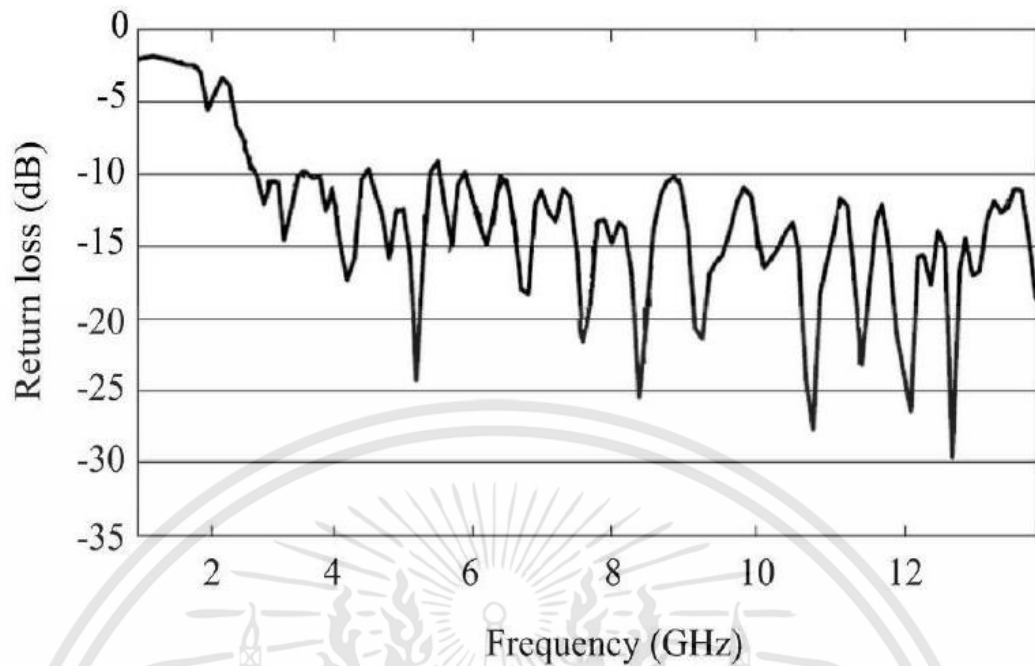
4.2.3 สายอากาศไดโพลรายคาบล็อก (Log periodic dipole antenna)

สายอากาศไดโพลรายคาบล็อกเป็นสายอากาศแบบไดโพลที่นิยมใช้กันอีกโครงสร้างหนึ่ง เนื่องจากคุณสมบัติของสายอากาศชนิดนี้มีช่วงการตอบสนองความถี่กว้างอีกทั้งมีอัตราการขยายสูง จึงเป็นสายอากาศที่ควรศึกษาเพื่อนำมาใช้งานในยุคของการสื่อสารแบบไร้สาย สายอากาศไดโพลรายคาบล็อกเป็นสายอากาศประเภทหนึ่งที่อยู่ภายในสายอากาศประเภทบรอดแบนด์ (Broadband Antenna) หรือ เป็นสายอากาศที่ไม่ขึ้นกับความถี่ (Frequency - Independent Antenna) ก็กับการใช้งานและมีช่วงความถี่ที่กว้างจึงเป็นที่นิยมใช้ในงานสื่อสารที่ต้องใช้ความถี่กว้าง รูปที่ 4.6 สายอากาศไดโพลรายคาบล็อกที่ใช้ในการวัดทดสอบ สายอากาศไดโพลรายคาบล็อก [22] ที่ใช้ในการทดสอบเป็นสายอากาศที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ ช่วงการใช้งานของสายอากาศอยู่ที่ 1.0 GHz ถึง 12.4 GHz



รูปที่ 4.6 สายอากาศไดโพลรายคาบล็อก (Watkins-Johnson AR7-15A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ $|S_{11}|$ ของสายอากาศไดโพลรายคาบล็อก

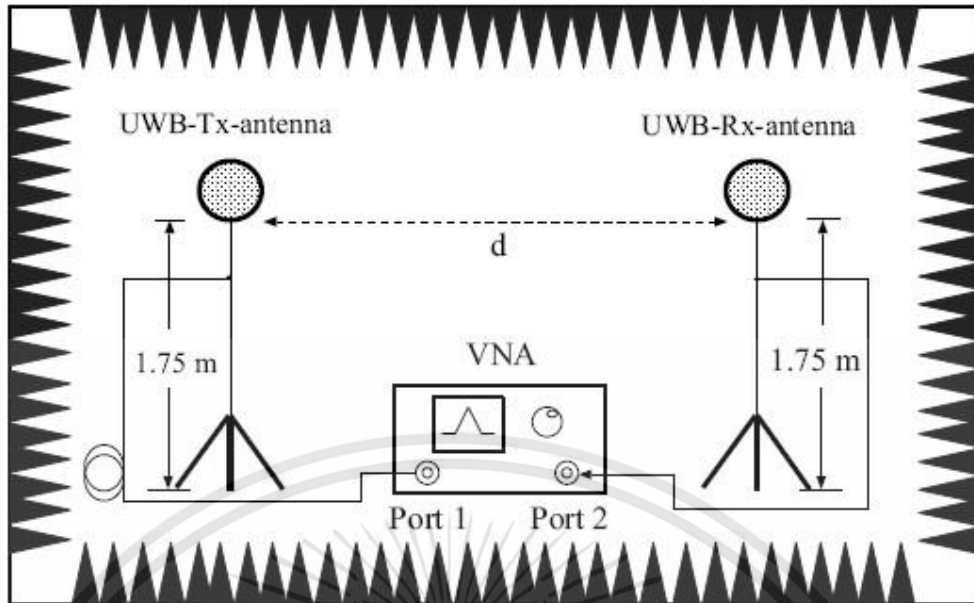
4.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองได้แสดงให้เห็นในตารางที่ 4.1

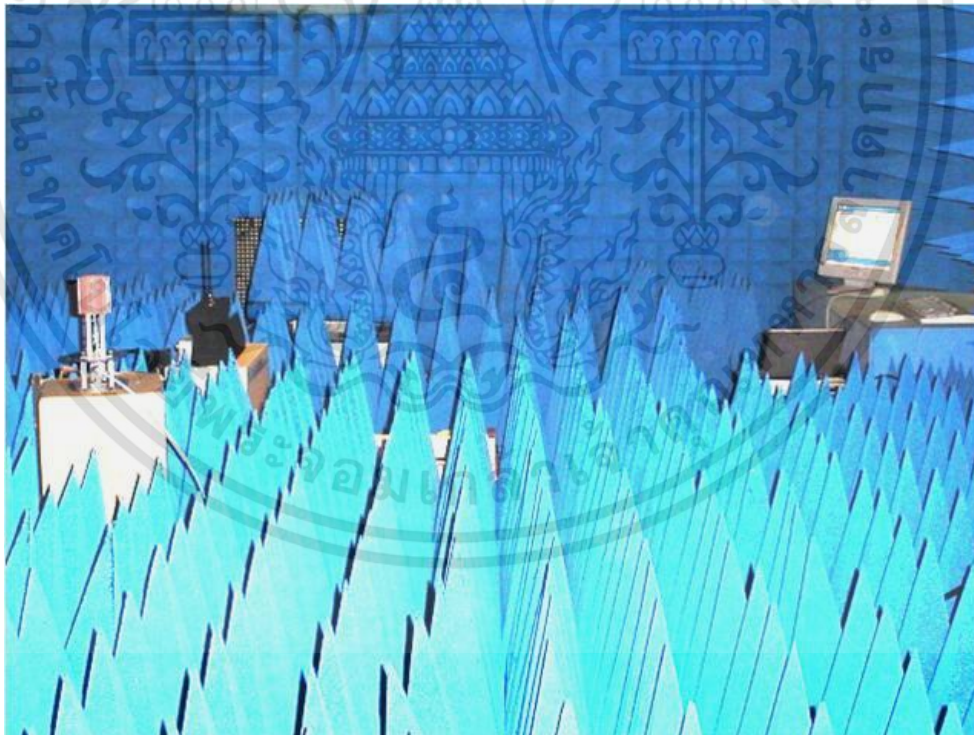
ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์	ค่า
ช่วงความถี่	3 GHz ถึง 11 GHz
จำนวนจุดความถี่	1601 จุด
ความสูงของสายอากาศด้านส่ง	1.75 m
ความสูงของสายอากาศด้านรับ	1.75 m
ชนิดของสายอากาศ	สายอากาศกรวยคู่ และ สายอากาศไดโพลรายคาบล็อก
การวางสายอากาศ	แนวนอน
ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่ง-รับ	4 m
การหมุนสายอากาศ	0 องศา - 360 องศา
การหมุนสายอากาศ/ครึ่ง	5 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

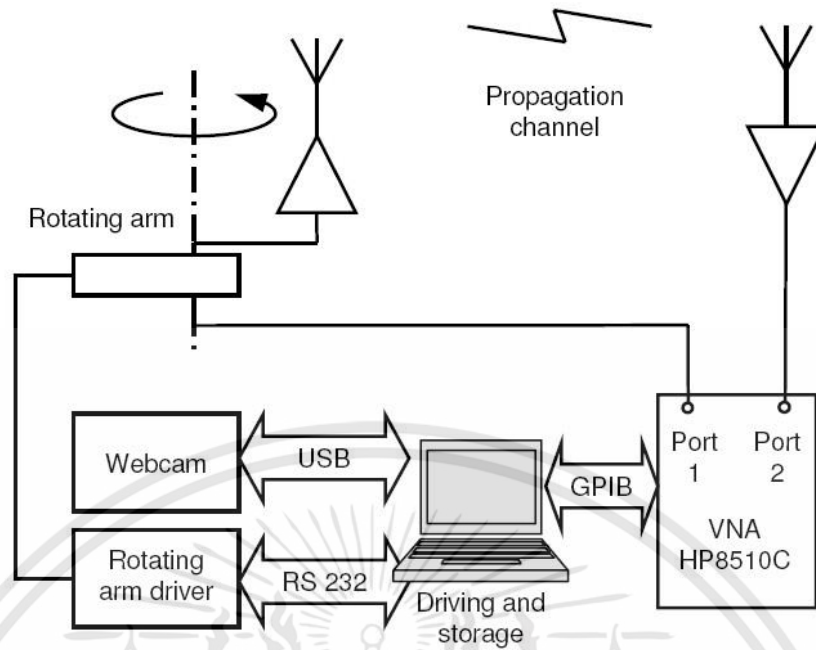


รูปที่ 4.8 แบบจำลองการวัดในห้องไร้การสะท้อนและการติดตั้งอุปกรณ์



รูปที่ 4.9 การวัดทดสอบความเพี้ยนเชิงเฟสของสายอากาศในห้องไร้การสะท้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ลักษณะการวางสายอากาศและระบบการวัด

4.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 4.2 รายการอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองวัด

รายการอุปกรณ์	จำนวน
เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์	1
สายอากาศสายคาบลิ็อก (Log Periodic Dipole Antennas)	2
สายอากาศกรวยคู่ (Biconical Antennas)	2
ชุดอุปกรณ์ปรับเทียบ (Calibrate Kit)	1
อุปกรณ์หมุนสายอากาศ	1
สายเคเบิล	2
คอนเน็คเตอร์	2

4.5 ขั้นตอนและวิธีการในการทดลอง

1. เริ่มทำการติดตั้งสายอากาศตามแบบจำลองการทดลอง โดยแบบจำลองการทดลองแรกเป็นการใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ในการรับ-ส่ง ติดตั้งสายอากาศทั้งสองที่ความสูงเท่ากันคือที่ 1.75 m และมีระยะห่างระหว่างสายอากาศ 4 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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. ทำการวัดโดยหมุนสายอากาศด้านรับไปครั้งละ 5 องศาจนครบ 360 องศา จนเสร็จสิ้น
6. ทำการเปลี่ยนสายอากาศเป็นสายอากาศไดโพลแบบรายคาบล็อกแล้วทำการวัดเหมือนกับข้อที่ 5
7. แล้วนำผลที่ได้ไปประมวลผลในโปรแกรม Matlab® และทำการวิเคราะห์

4.6 สรุป

สำหรับบทนี้ได้กล่าวถึงแบบแผนการทดลองและการวัดทดลองความเพี้ยนเชิงแอมพลิจูดเนื่องจากสายอากาศ โดยได้ทดลองในห้องปฏิบัติการสะท้อนโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ในการทดลองวัด ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอสายอากาศที่ใช้ในการทดสอบสองชนิด คือ สายอากาศแบบกรวยคู่และสายอากาศไดโพลรายคาบล็อก ซึ่งก่อนทำการวัดจะต้องทำการปรับเทียบเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ก่อนทำการวัดจากนั้นทำการติดตั้งและตั้งค่าพารามิเตอร์ตามตารางที่ 4.1 แล้วทำการวัดตามกระบวนการในการทดลองตามขั้นตอนที่ 4.5 ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น ซึ่งพารามิเตอร์ที่ได้จะเป็นค่า ฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศในอวกาศว่างแล้วนำผลที่บันทึกในคอมพิวเตอร์ไปทำการประมวลผลด้วยโปรแกรมเพื่อวิเคราะห์ถึงสมรรถนะของสายอากาศแบบแถบกว้าง

บทที่ 5

ผลการทดลองวิจัยและการวิเคราะห์

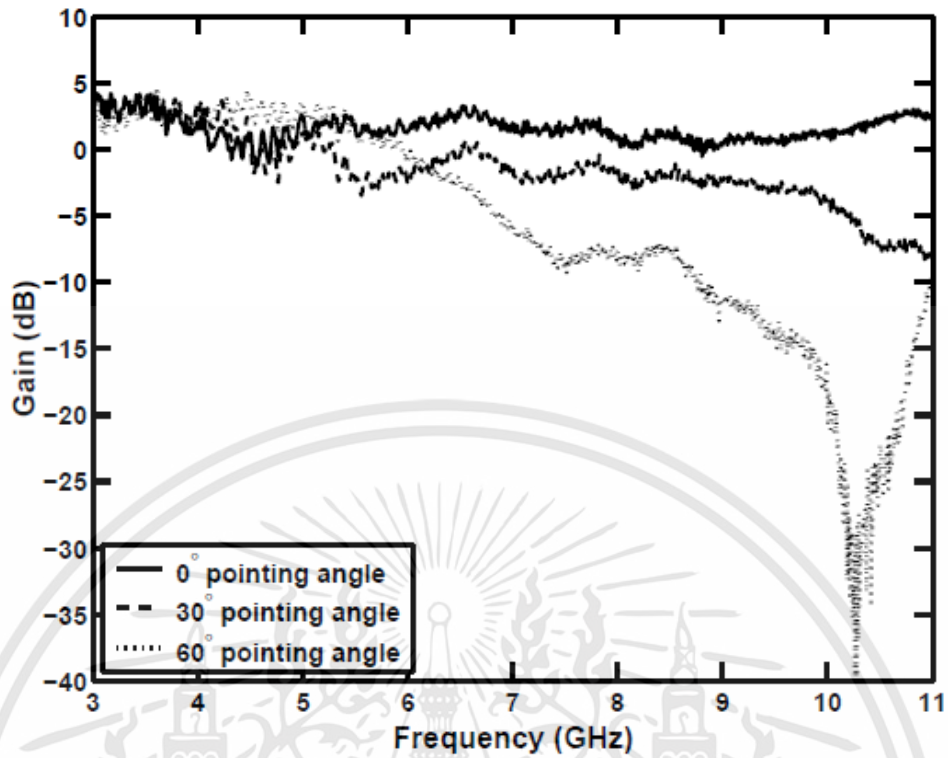
5.1 บทนำ

บทนี้จะเป็นการกล่าวถึงการวิเคราะห์จากผลการทดลองวิจัย ซึ่งใช้หลักการวิเคราะห์ช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งโดยใช้สูตรการประยุกต์การส่งผ่านของฟรีส และทางด้านรับได้เสนอเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ด้วยสัญญาณที่รับได้ ซึ่งได้แสดงหลักการวิเคราะห์ไว้ในบทที่ 3 ผลที่ได้จากการวัดหรือการทดสอบจริงของช่องสัญญาณการส่งผ่านในสภาพแวดล้อมจริง รูปแบบของสัญญาณส่ง และรูปแบบการจำลองวัดได้ จากนั้นได้นำเอาผลการวัดมาทำการประเมินผล เพื่อนำพารามิเตอร์มาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลของความแตกต่างตลอดจนสอดคล้องกับแนวทางทฤษฎีหรือไม่อย่างไรก็ตามตัวอย่างของผลการทดลองวิจัยที่ได้แสดงในบทนี้ เช่น คุณสมบัติของสายอากาศที่ใช้ในการทดสอบ ขนาดและเฟส และอัตราขยายการส่งผ่านของช่องสัญญาณการแถบกว้างยิ่งด้วยกรณีสายอากาศด้านรับและด้านส่งเหมือนกันโดยใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ และในกรณีที่ใช้สายอากาศไดโพลรายคาบสี่ก

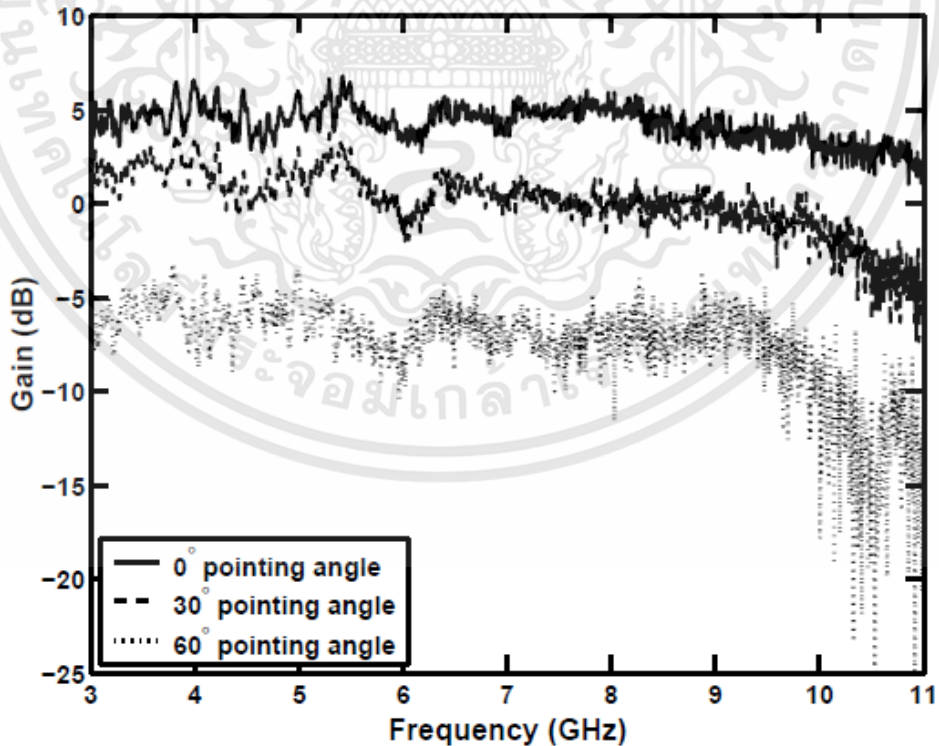
5.2 จากผลการทดลองวัดและการวิเคราะห์

5.2.1 อัตราขยายการส่งผ่านในแถบความถี่ร่วม

อัตราขยายการส่งผ่านกรณีใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ในการรับส่งทั้งสายอากาศรับและส่ง ซึ่งจากรูปที่ 5.1 จะเห็นว่าค่าอัตราขยายช่วงมุม 0 องศาและ 30 องศา มีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดช่วงความถี่ โดยมีค่าสูงสุดที่ประมาณ 4 dB และในขณะที่มุม 60 องศา นั้นมีค่าการเปลี่ยนแปลงของอัตราขยายที่ลดลงค่อนข้างมากซึ่งช่วงความถี่สูงเป็นช่วงที่มีค่าการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด ในขณะรูปที่ 5.4 แสดงอัตราขยายการส่งผ่านสำหรับการเชื่อมโยงกรณีใช้สายอากาศแบบกรวยคู่กับสายอากาศไดโพลรายคาบสี่กซึ่งจะเห็นว่าที่มุม 0 องศา นั้น อัตราขยายการส่งผ่านมีค่าที่สูงกว่ากรณีใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ทั้งรับและส่ง แต่เมื่อทำการหมุนสายอากาศไปที่มุม 30 องศาและ 60 องศา นั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงมีค่าการเปลี่ยนแปลงที่มากกว่าและมีค่าที่ลดต่ำลงอย่างเห็นได้ชัดจนมีค่าต่ำกว่าสายอากาศแบบกรวยคู่ ซึ่งสาเหตุน่าจะเกิดจากขนาดและรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลรายคาบสี่กที่มีขนาดเล็กกว่าสายอากาศแบบกรวยคู่



รูปที่ 5.1 อัตราขยายการส่งผ่านของการเชื่อมโยงกรณีสายอากาศแบบกรวยคู่ - กรวยคู่

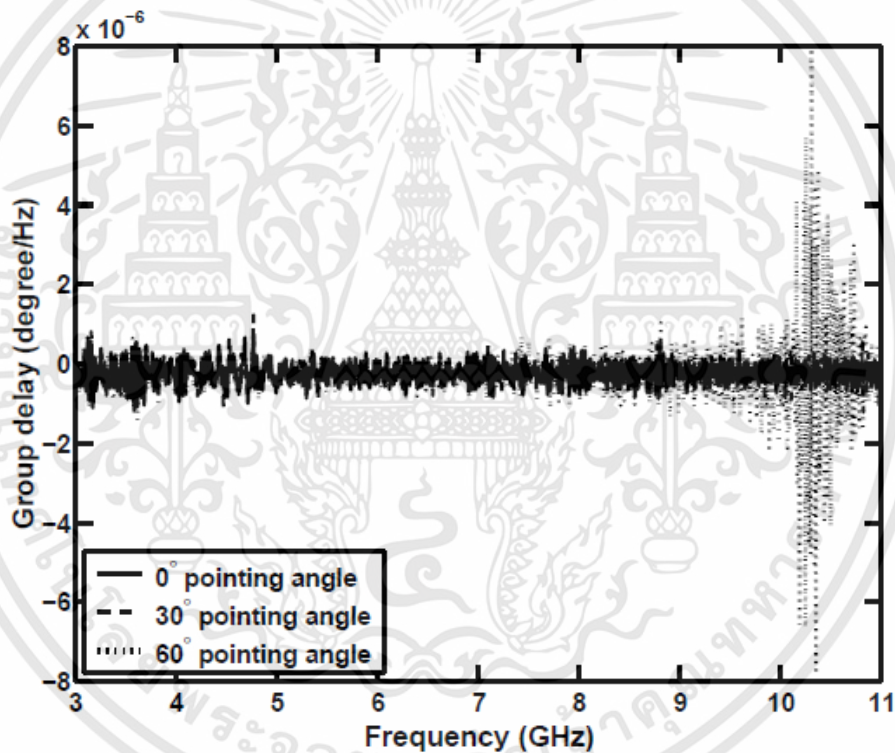


รูปที่ 5.2 อัตราขยายการส่งผ่านของการเชื่อมโยงกรณีสายอากาศแบบกรวยคู่-สายอากาศ
ไดโพลราคาบล็อกร

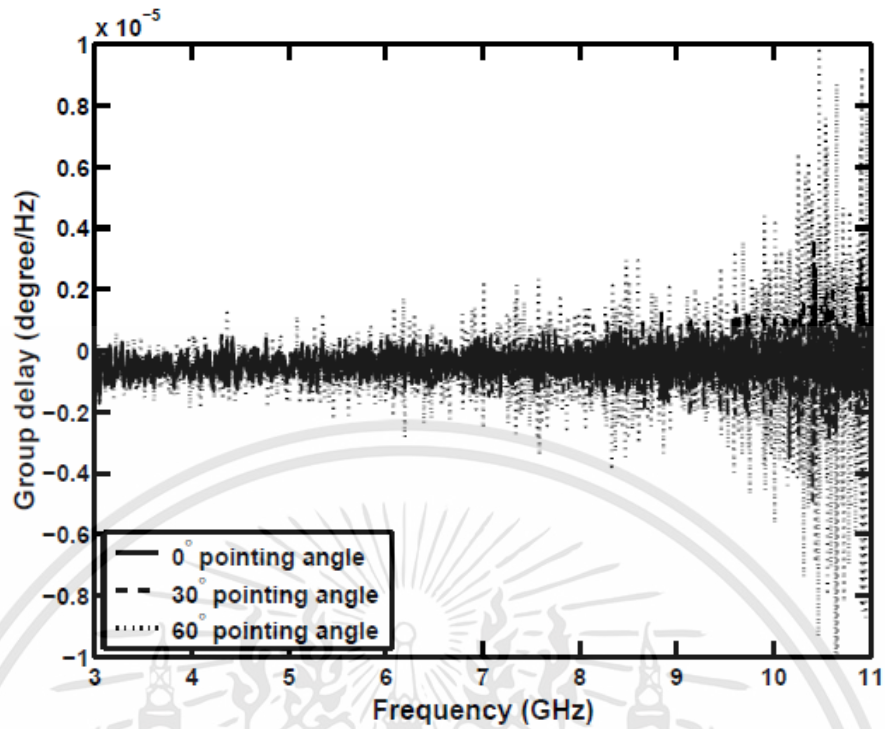
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 การประวิงกลุ่ม (Group Delay)

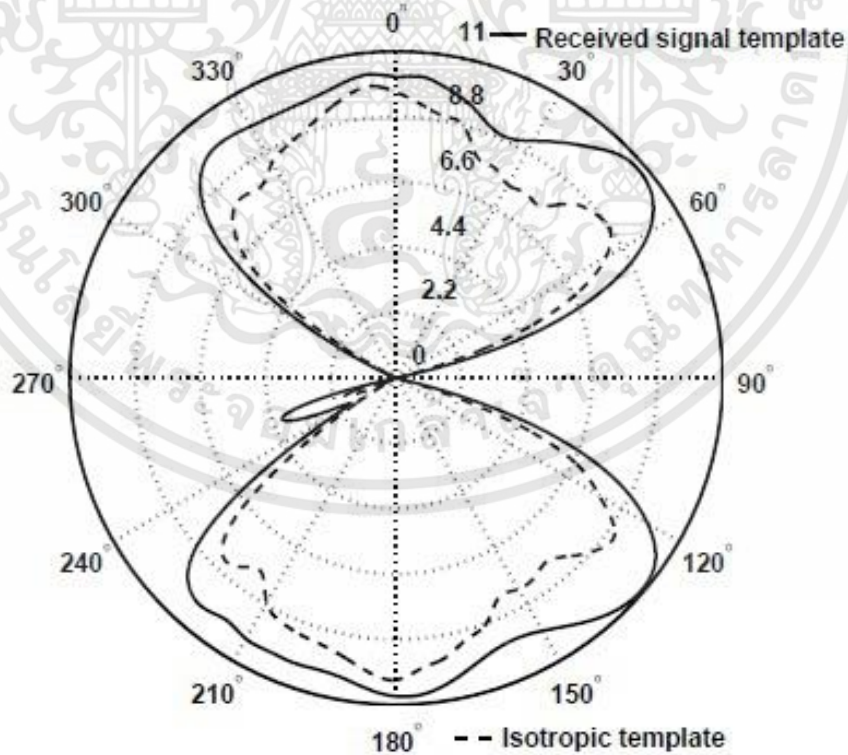
การประวิงกลุ่มของสายอากาศในกรณีสายอากาศแบบกรวยคู่ทั้งรับและส่งดังในรูปที่ 5.3 และใช้สายอากาศแบบไดโพลรายคาบล็อกเป็นสายอากาศรับดังรูปที่ 5.4 ซึ่งเราได้นำเสนอในช่วงบางมุมคือ 0 องศา 30 องศาและ 60 องศาจากการวัด เพื่อแสดงถึงคุณลักษณะของสายอากาศต่อการเกิดการประประวิงกลุ่ม ซึ่งจากรูปทั้งสองจะเห็นได้ว่า จะเห็นได้ว่าที่มุม 0 องศาและ 30 องศา มีลักษณะค่อนข้างเป็นเส้นตรงทั้งสองแบบ ซึ่งหมายถึงการเกิดประวิงที่น้อยมาก แต่เมื่อมุมการหมุนเพิ่มขึ้นค่าการประวิงกลุ่มก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งส่วนนี้เกิดจากคุณลักษณะรูปร่างของสายอากาศที่ไม่สามารถรับสัญญาณได้ดีเนื่องจากทิศทางารับสัญญาณ และการประวิงกลุ่มที่ใช้สายอากาศไดโพลรายคาบล็อกมีค่าการประวิงที่สูงกว่ากรณีสายอากาศแบบกรวยคู่ทั้งสอง



รูปที่ 5.3 การประวิงกลุ่มกรณีใช้สายอากาศแบบกรวยคู่-กรวยคู่

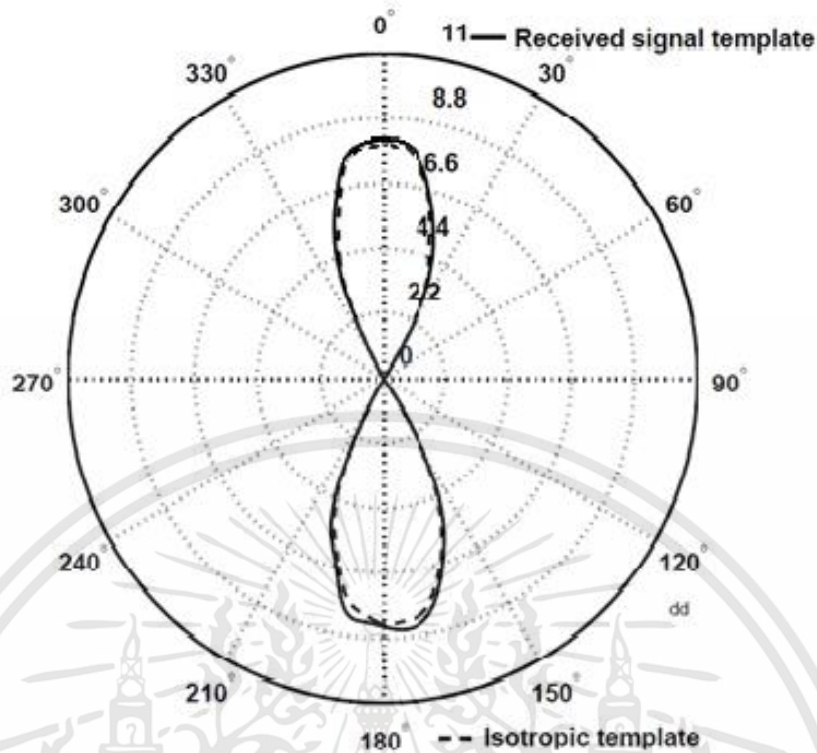


รูปที่ 5.4 การประวิงกลุ่มกรณีใช้สายอากาศแบบกรวยคู่-สายอากาศไดโพลรายคาบล็อก



รูปที่ 5.5 อัตราขยายการส่งผ่านตามมาตรฐานของ FCC สำหรับการเชื่อมโยงของสายอากาศกรวยคู่-สายอากาศกรวยคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 อัตราขยายการส่งผ่านของแถบความถี่ร่วมสำหรับการเชื่อมโยงด้วยสายอากาศกรวยคู่ – สายอากาศกรวยคู่

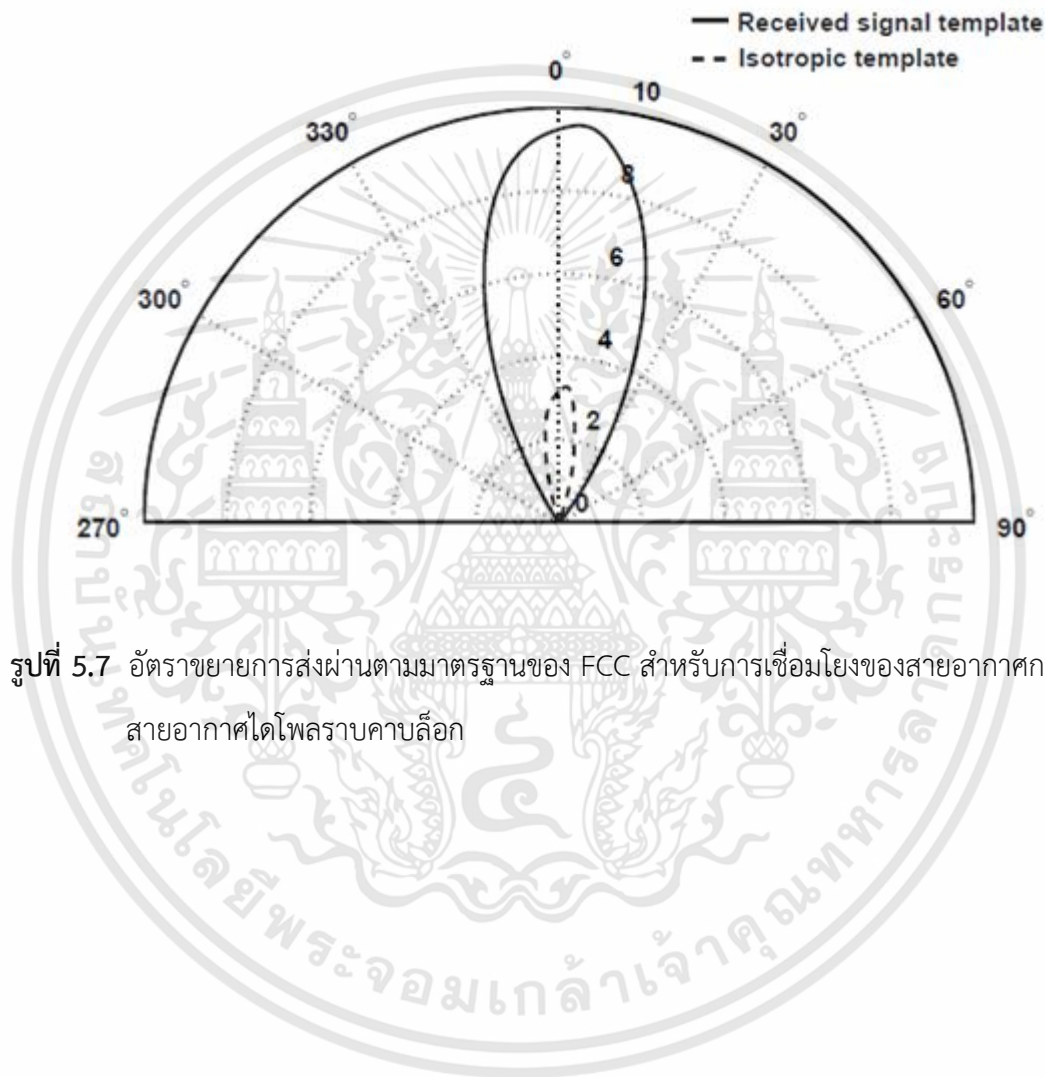
5.2.3 อัตราขยายการส่งผ่านตามมาตรฐานของ FCC และแถบความถี่ร่วม

รูปที่ 5.5 และรูปที่ 5.6 แสดงอัตราขยายการส่งผ่านซึ่งกำหนดให้เป็นไปตามมาตรฐานของแถบความถี่ FCC และแถบความถี่ร่วม ซึ่งใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ทั้งสายอากาศรับและสายอากาศส่ง ในกรณีสายอากาศแถบความถี่ตามมาตรฐาน FCC นั้นจะมีความแตกต่างที่ค่อนข้างเมื่อเทียบกับกรณีไอโซทรอปิกนั้นแสดงให้เห็นว่าการใช้แถบความถี่ตาม FCC นั้นมีเกิดความเพี้ยนมาก แต่เมื่อทำการเปลี่ยนมาใช้แถบความถี่ร่วมดังรูปที่ 5.6 นั้น มีค่าความแตกต่างระหว่างกับไอโซทรอปิกน้อยมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแถบความถี่ร่วมนั้นมีความผิดเพี้ยนที่น้อยการใช้แถบความถี่แบบ FCC

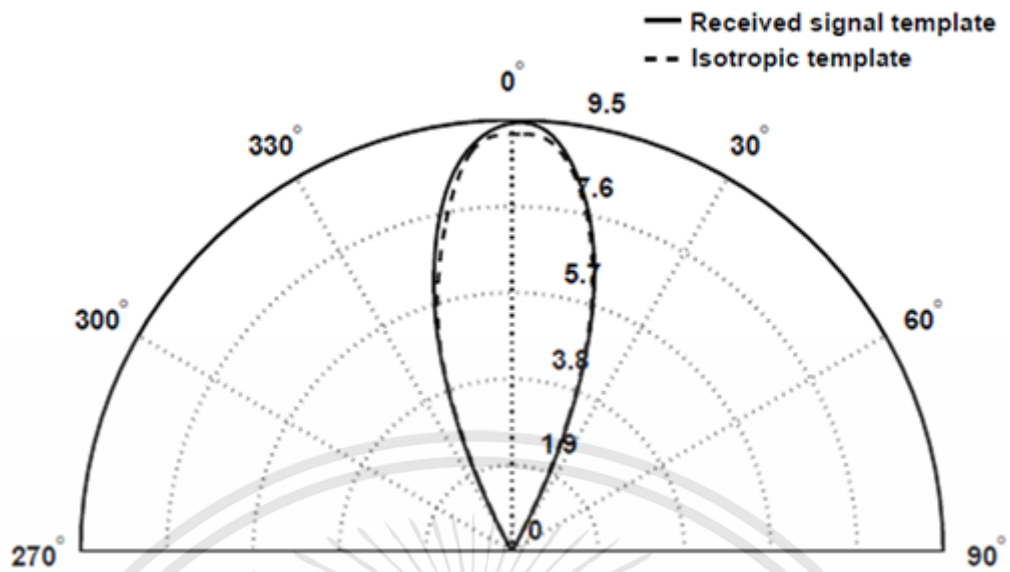
รูปที่ 5.7 และรูปที่ 5.8 แสดงอัตราขยายการส่งผ่านซึ่งกำหนดให้เป็นไปตามมาตรฐานของแถบความถี่ FCC และแถบความถี่ร่วม สำหรับการเชื่อมโยงสายอากาศแบบกรวยคู่กับสายอากาศไดโพลรายคาบล็อก ในกรณีสายอากาศแถบความถี่ตามมาตรฐาน FCC นั้นจะมีค่าความแตกต่างค่อนข้างมาก เมื่อเทียบกับกรณีไอโซทรอปิกนั้นแสดงให้เห็นว่าการใช้แถบความถี่ตาม FCC นั้นมีเกิดความเพี้ยนมาก ดังรูปที่ 5.7 แต่เมื่อทำการเปลี่ยนมาใช้แถบความถี่ร่วม ดังรูปที่ 5.8 นั้น ค่าความแตกต่างระหว่างการเชื่อมโยงสายอากาศแบบกรวยคู่กับสายอากาศไดโพลรายคาบล็อกเมื่อ

เทียบกับกรณีไอโซทรอปิกมีค่าน้อยมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแถบความถี่ร่วมนั้นมีความผิดเพี้ยนที่น้อย การใช้แถบความถี่แบบ FCC

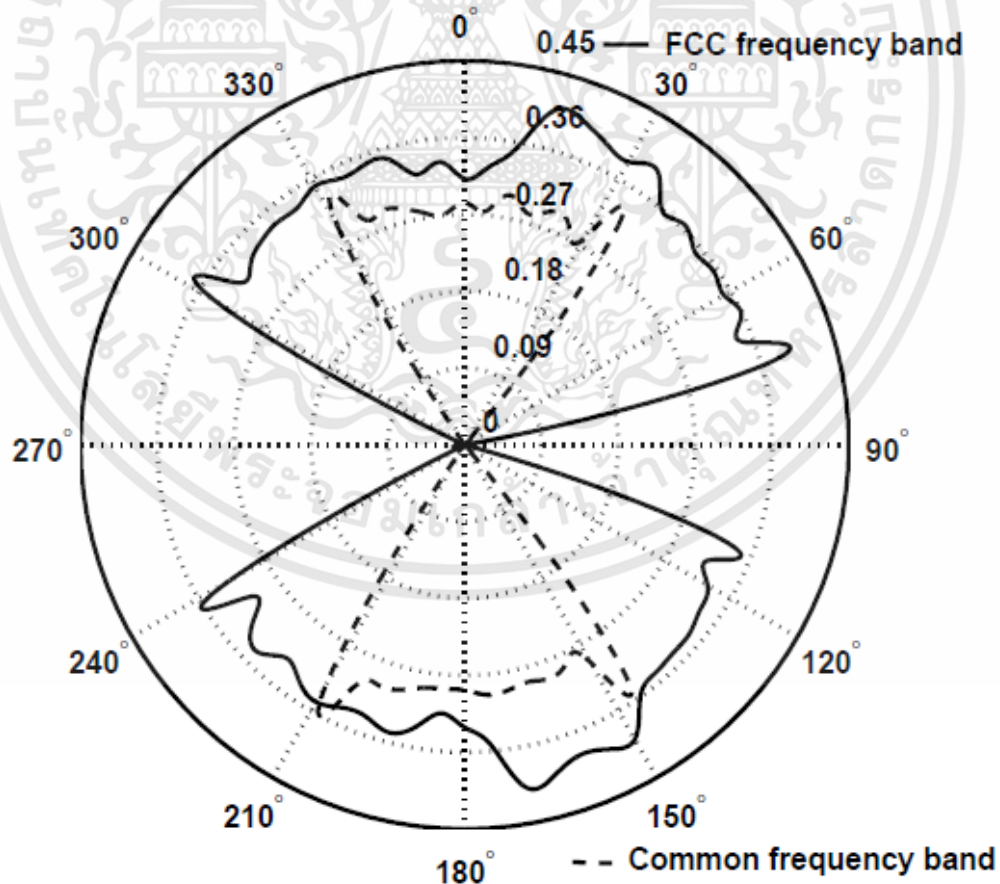
ซึ่งจากผลการทดลองเมื่อดูประสิทธิภาพอัตราขยายเทียบกับในแต่ละกรณีจะเห็นว่า การใช้แถบความถี่ร่วมนั้นให้ผลที่ดีกว่าการใช้แถบความถี่ของ FCC นั่นแสดงให้เห็นว่าสายอากาศมีคุณสมบัติที่ตอบสนองความถี่ช่วงแบนด์ที่แคบได้ดีกว่าช่วงความถี่กว้างและมีค่าอัตราขยายที่สูง



รูปที่ 5.7 อัตราขยายการส่งผ่านตามมาตรฐานของ FCC สำหรับการเชื่อมโยงของสายอากาศกรวยคู่-สายอากาศไดโพลราบคาบลิ้น



รูปที่ 5.8 อัตราขยายการส่งผ่านตามมาตรฐานของแถบความถี่ร่วมสำหรับการเชื่อมโยงของสายอากาศกรวยคู่-สายอากาศไดโพลราบคาบล็อก

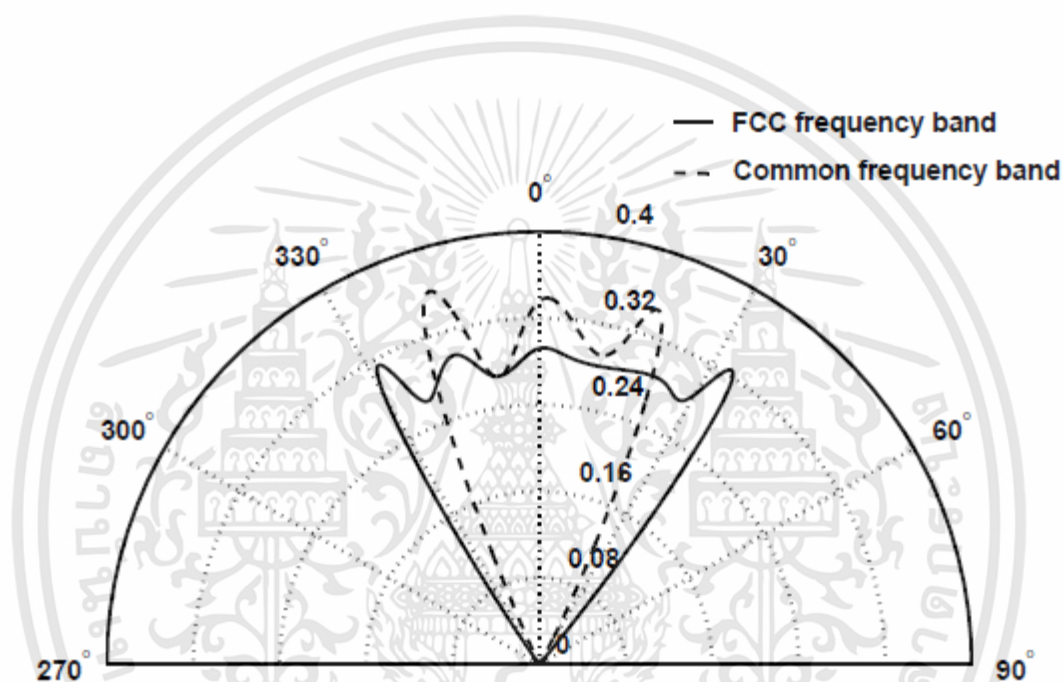


รูปที่ 5.9 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการกระเพื่อมของเฟสโดยการเชื่อมโยงด้วยสายอากาศกรวยคู่ทั้งคู่ระหว่างแถบความถี่ FCC กับแถบความถี่ร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

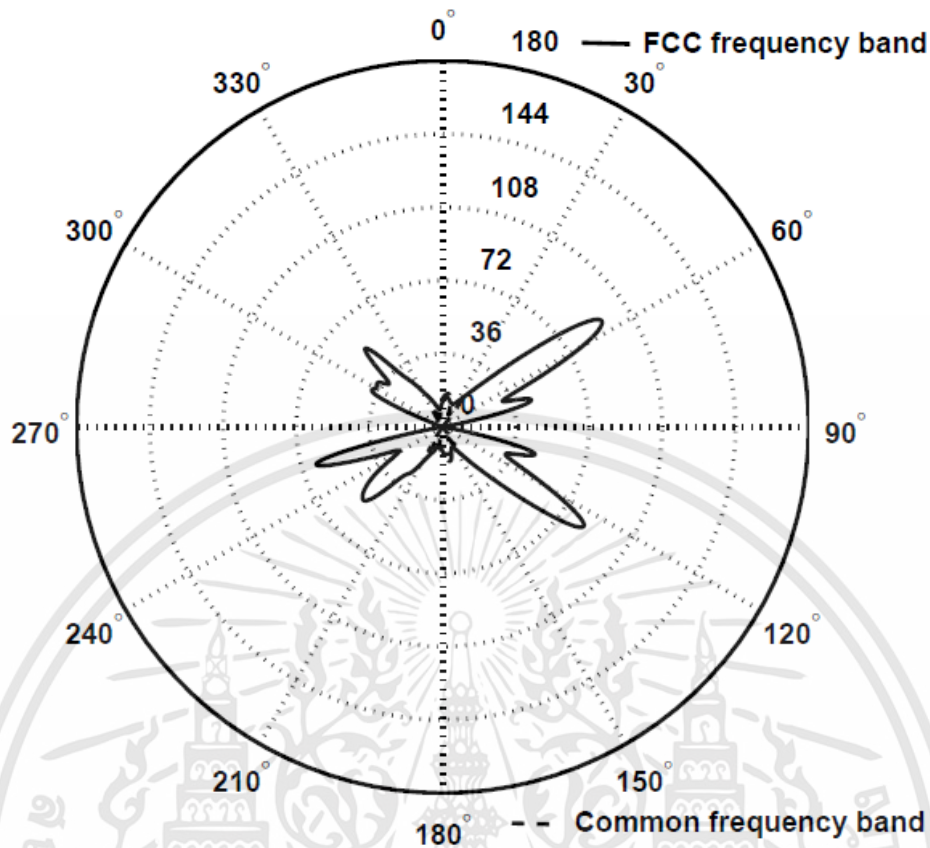
5.2.4 ความเพี้ยนเชิงเฟสของสายอากาศที่ใช้ในการทดสอบ

รูปที่ 5.9 เป็นผลการทดลองที่วัดได้ในกรณีที่ใช้สายอากาศแบบกรวยคู่เหมือนกันทั้งในสายอากาศรับและสายอากาศส่งแต่ได้ทำการเปลี่ยนสัญญาณรูปคลื่นในการส่งสองแบบคือ รูปคลื่นสัญญาณที่เป็นไปตามมาตรฐานของ FCC และรูปคลื่นในกรณีแถบความถี่ร่วม โดยเป็นการเปรียบเทียบความเพี้ยนที่ใช้แถบความถี่ต่างกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าในกรณีการใช้แถบความถี่ร่วมนั้นมีค่าเพี้ยนเชิงเฟสที่น้อยกว่า แต่เมื่อเป็นกรณีใช้สายอากาศไดโพลรายคาบล็อกดังรูปที่ 5.10 นั้นค่าความเพี้ยนในกรณีที่ใช้แถบความถี่ร่วมนั้นมีค่ามากกว่าสายอากาศแบบกรวยคู่



รูปที่ 5.10 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการกระเพื่อมของเฟสโดยการเชื่อมโยงด้วยสายอากาศไดโพลรายคาบล็อกทั้งคู่ ระหว่างแถบความถี่ FCC กับแถบความถี่ร่วม

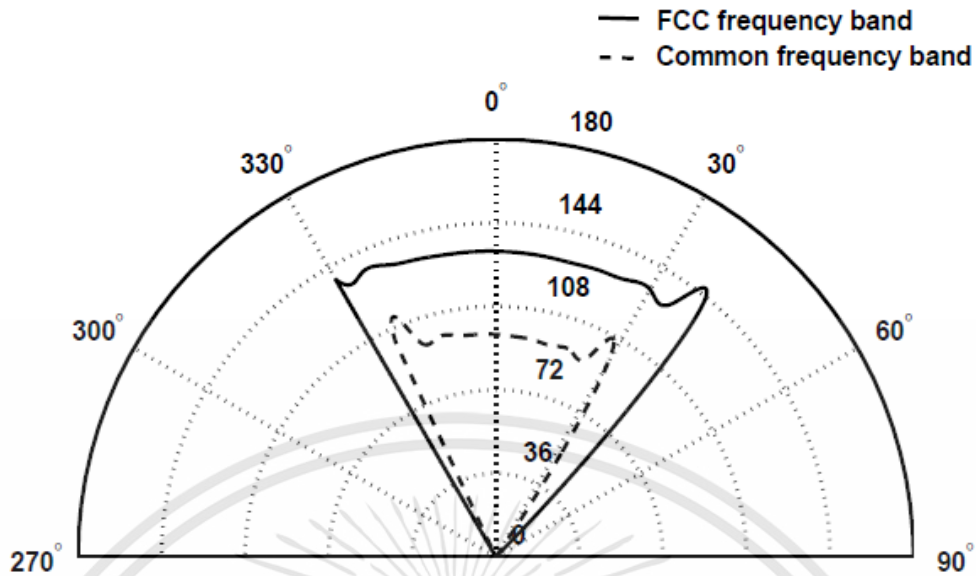
รูปที่ 5.11 จากการวัดโดยใช้สายอากาศกรวยคู่เหมือนกันทั้งในด้านรับและด้านส่งนั้น เมื่อทำการประเมินฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศกรวยคู่ และการหมุนสายอากาศตั้งแต่มุม 0 องศา ถึง มุม 360 องศา ในระนาบสนามไฟฟ้า ซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าสายอากาศแบบกรวยคู่ที่แถบความถี่มาตรฐานของ FCC มีความแตกต่างระหว่างกันน้อยมากกับแถบความถี่ร่วมจนเสมือนทับกัน ซึ่งแสดงให้เห็นแถบความถี่นั้นถึงแม้แบนด์วิดท์จะต่างกันแตเมื่อนำมาใช้กับสายอากาศแบบกรวยคู่นั้นแทบจะไม่ต่างกัน ในขณะที่ค่าความเพี้ยนเชิงเฟสนั้นมีค่าสูงสุดที่ 102 องศา ซึ่งถือว่ามีความเพี้ยนที่ต่ำเมื่อเทียบกับสายอากาศแบบไดโพลรายคาบล็อก



รูปที่ 5.11 การเปรียบเทียบความถี่เชิงเฟสสำหรับการเชื่อมโยงด้วยสายอากาศแบบกรวยคู่

สายอากาศไดโพลรายคาบถือเป็นสายอากาศที่นิยมใช้ในระบบบรอดแบนด์และมีอัตราการขยายที่ไม่ขึ้นกับความถี่ ซึ่งแตกต่างกับสายอากาศแบบกรวยคู่ อย่างไรก็ตามด้วยคุณลักษณะที่มีการแพร่กระจายคลื่นค่อนข้างใหญ่ ส่วนเฟสนั้นมีการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากความถี่เรโซแนนซ์ของอีลีเมนต์ของสายอากาศ สายอากาศนี้มีช่วงการทำงานในช่วงความถี่ 1 GHz ถึง 12.4 GHz

ฟังก์ชันการส่งผ่านของช่องสัญญาณที่ได้จากการวัดสายอากาศไดโพลรายคาบถือจากการหมุนสายอากาศตั้งแต่มุม 0 ถึงมุม 360 องศาในระนาบสนามไฟฟ้า แสดงได้ดังในรูปที่ 5.12 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบแถบความถี่ตามมาตรฐานของ FCC เปรียบเทียบกับแถบความถี่ร่วม จะเห็นว่าแบนด์วิดท์มีผลต่อความต่างของการใช้สายอากาศชนิดนี้ ซึ่งเมื่อใช้รูปคลื่นสัญญาณที่เป็นไปตามแถบความถี่ร่วมนั้นจะให้ผลความถี่ที่น้อยกว่าการใช้แถบความถี่ตามมาตรฐาน FCC ซึ่งค่าเฟสที่ได้มีค่า 148 องศา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเกิดการผิดเพี้ยนจากสายอากาศไดโพลรายคาบถือกันมีความผิดเพี้ยนที่มากกว่าสายอากาศแบบกรวยคู่



รูปที่ 5.12 การเปรียบเทียบความเพี้ยนเชิงเฟสของการเชื่อมโยงด้วยสายอากาศไดโพลรายคาบล็อก

5.3 สรุป

การวิเคราะห์และการประเมินผลการทดลองวิจัยและการทดสอบนั้นเราสามารถสรุปได้ดังนี้ ในบทนี้ได้นำเสนอผลการวัดและทดสอบความเพี้ยนเชิงเฟสของสายอากาศที่นำมาใช้ในย่านความถี่ แถบกว้างยิ่ง ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องดูถึงคุณสมบัติในการส่งผ่านของสายอากาศเพื่อสามารถทราบถึงประสิทธิภาพสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งาน ซึ่งจากผลการทดลองเราได้ใช้สายอากาศสองชนิด คือ สายอากาศไดโพลรายคาบล็อกกับสายอากาศกรวยคู่ และกำหนดรูปแบบแถบความถี่ในการทดสอบสองรูปแบบคือแถบความถี่ตามมาตรฐานของ FCC ช่วงมีช่วงการทำงานอยู่ที่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz เพื่อเป็นจุดอ้างอิงและแถบความถี่ร่วมที่ 7.25 GHz ถึง 8.5 GHz โดยผลเป็นดังนี้ การประวิงกลุ่มของการใช้สายอากาศแบบกรวยคู่นั้นจะมีค่าการประวิงกลุ่มโดยรวมที่ดีกว่าสายอากาศแบบไดโพลรายคาบล็อกซึ่งจะสัมพันธ์กับค่าอัตราขยายของสายอากาศที่จะเป็นไปในลักษณะเดียวกัน เมื่อเราได้การเปรียบเทียบโดยการใช้แถบความถี่ที่ต่างกันนั้น ผลที่ได้คืออัตราขยายกรณีที่ใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ แถบความถี่ร่วมให้ผลที่ดีกว่า ซึ่งค่าความแตกต่างระหว่างสายอากาศไอโซทรอปิกนั้นน้อยกว่า แสดงให้เห็นถึงความเพี้ยนที่มีค่าน้อยกว่า และเมื่อเราทำการเปรียบเทียบสายอากาศไดโพลรายคาบล็อกอัตราขยายที่แถบความถี่ร่วมจะมีค่าที่ดีกว่า สุดท้ายในการดูถึงความเพี้ยนเชิงเฟสที่เกิดกับสายอากาศทั้งสองชนิดนั้นสายอากาศแบบกรวยคู่จะให้ผลการทดสอบที่ดีกว่าโดยมีค่าความเพี้ยนเชิงเฟสที่น้อยกว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบกัน

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและแนวทางการวิจัยในอนาคต

6.1 บทนำ

สำหรับวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาวิจัยความผิดเพี้ยนช่องสัญญาณการส่งผ่านพิจารณาอันเนื่องมาจากสายอากาศ ซึ่งเป็นสายอากาศสำหรับเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง โดยศึกษาถึงคุณลักษณะของสายอากาศที่จะนำมาพิจารณาใช้งานสำหรับแถบความถี่กว้างยิ่ง โดยสายอากาศที่ใช้เป็นสายอากาศที่ครอบคลุมแถบความถี่ของ FCC คือ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz เพื่อใช้ในการอ้างอิงสำหรับในแถบความถี่ร่วม คือ 7.25 GHz -8.5 GHz ในพิจารณาถึงความเพี้ยนเชิงเฟสของสายอากาศไปใช้กับแถบความถี่ต่างมาตรฐานกัน

6.2 ผลการทดลองความเพี้ยนช่องสัญญาณการส่งผ่าน

จากการทดลองผลที่ได้ แสดงให้เห็นว่าผลการทดลองที่ได้ทำวัดและทดสอบนั้นพอที่สามารถสรุปโดยรวมดังนี้

ในการพิจารณาถึงค่าอัตราการขยายการส่งผ่านสายอากาศแบบแถบกว้างที่ได้ทำการทดลองหมุนตั้งแต่ 0 องศาถึง 360 องศา ซึ่งค่าอัตราการขยายของสายอากาศจะมีค่าลดลงเมื่อมุมมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งสายอากาศสองแบบ แต่สำหรับในกรณีใช้สายอากาศแบบกรวยคู้้นในช่วงความถี่ต่ำนั้นจะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน อัตราการขยายการส่งผ่านจะลดลงในช่วงความถี่สูงเมื่อมุมเพิ่มขึ้น สำหรับสายอากาศไดโพลรายคาบลือกค่าอัตราการส่งผ่านจะลดลงโดยแปรผันกับมุมที่เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน ซึ่งในส่วนนี้ทำให้เราทราบว่าสายอากาศที่มีลักษณะการรับแบบมีทิศทางจะมีคุณลักษณะอย่างไรต่อการเชื่อมโยงสำหรับการส่งผ่านแถบกว้างยิ่ง

การประวิงกลุ่มโดยนำเสนอมุม 0 องศา 30 องศา และ 60 องศา จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการหมุนสายอากาศค่าการประวิงกลุ่มจะมีค่าที่เพิ่มขึ้นในสายอากาศทั้งสองชนิดอันเนื่องมาจากคุณลักษณะของสายอากาศที่เป็นสายอากาศแบบมีทิศทาง ซึ่งเมื่อมุมที่ 60 องศา ค่าประวิงกลุ่มของสายอากาศแบบไดโพลรายคาบลือกจะมีค่าประวิงกลุ่มมากกว่าสายอากาศแบบกรวยคู้้น เนื่องจากรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลรายคาบลือกมีลักษณะที่แคบกว่า และค่าการประวิงกลุ่มของสายอากาศแบบกรวยคู้้นจะมีค่าการประวิงกลุ่มโดยรวมที่ต่ำกว่าสายอากาศแบบไดโพลรายคาบลือก

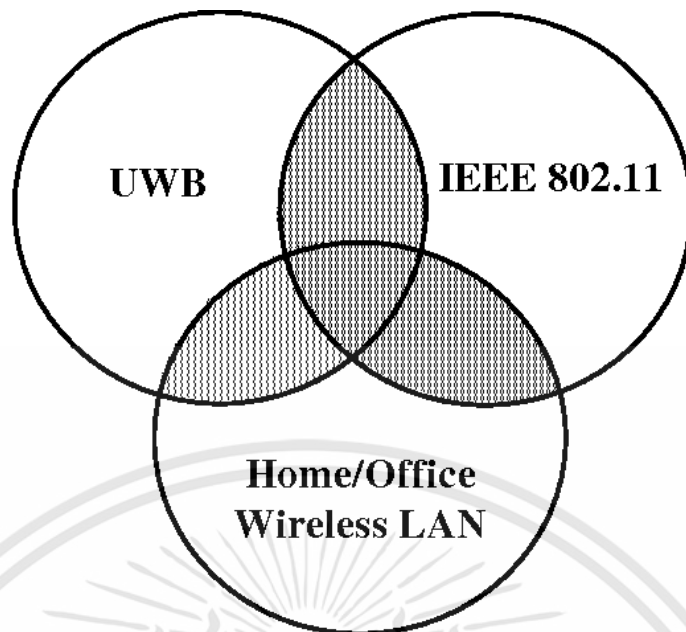
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเราได้เปรียบเทียบโดยการใช้แถบความถี่ต่างกัน โดยใช้แถบความถี่ตามมาตรฐานของ FCC และแถบความถี่ร่วมในการพิจารณา ผลที่ได้คืออัตราการขยายกรณีที่ใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ และการใช้แถบความถี่ร่วม ให้ผลที่ดีกว่าใช้แถบความถี่ตามมาตรฐาน FCC ซึ่งพิจารณาได้จากค่าความแตกต่างระหว่างสายอากาศที่ใช้ทดลองกับสายอากาศไอโซทรอปิกที่น้อยกว่า แสดงให้เห็นถึงความเพี้ยนที่มีค่าน้อยกว่าเช่นกัน และเมื่อเราทำการเปรียบเทียบสายอากาศไดโพลรายคาบล๊อค อัตราการขยายที่แถบความถี่ร่วมจะมีค่าที่ดีกว่าเช่นกันซึ่งแสดงให้เห็นว่า แถบความถี่ร่วมเหมาะสมกับการใช้งานด้วยสายอากาศชนิดนี้

ความเพี้ยนของอัตราการขยายในการส่งผ่านที่เกิดกับสายอากาศทั้งสองชนิดนั้นสายอากาศแบบกรวยคู่ที่ใช้แถบความถี่ร่วมในแถบความถี่ร่วม คือ 7.25 GHz -8.5 GHz ในพิจารณาถึงความเพี้ยน จะมีค่าความเพี้ยนเชิงเฟสที่น้อยกว่าการใช้แถบความถี่ตามมาตรฐาน FCC แต่สำหรับกรณีของสายอากาศไดโพลรายคาบล๊อกนั้นการใช้แถบความถี่ร่วมนั้นกลับทำให้ค่าความเพี้ยนเชิงเฟสมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นในกรณีใช้แถบความถี่ร่วมสายอากาศกรวยคู่จะให้ผลการทดสอบที่ดีกว่า แต่เมื่อใช้กับแถบความถี่ของ FCC สายอากาศไดโพลรายคาบล๊อกมีคุณสมบัติที่ดีกว่าโดยมีค่าความเพี้ยนเชิงเฟสที่น้อยกว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบกัน ซึ่งจากงานวิจัยนี้เป็นแบบแผนที่สามารถนำไปใช้ในการประเมินสายอากาศแถบกว้างอื่นๆ เพื่อดูถึงประสิทธิภาพในการส่งผ่านได้

6.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการวิจัยพัฒนา

ในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาสายอากาศที่ใช้อยู่เพียงสองชนิด ยังมีสายอากาศอีกหลายชนิดที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานกับเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง ซึ่งเราควรพิจารณาเพื่อดูความเหมาะสมในการใช้งาน และปัจจุบันแถบความถี่ของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งยังได้ถูกกำหนดมาตรฐานใหม่เป็นมัลติแบนด์ ซึ่งมีช่วงความถี่หลายแถบความถี่ หรือมีการใช้หลายเทคโนโลยี จึงจำเป็นต้องทำการทดสอบเพื่อความเหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้งาน



รูปที่ 6.1 การใช้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งถูกใช้งานร่วมกับเทคโนโลยีอื่น ๆ [3,4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

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

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลงานวิจัยที่ได้นำเสนอในการประชุมวิชาการนานาชาติ

- [1] C. Chinnabud, S. Promwong, "Evaluation of UWB Antenna at 7-9 GHz for Short Range Wireless Communication," 2018 International Conference on Digital, Arts Media and Technology (ICDAMT 2018), pp. 424-429, Nov. 2018.



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายชัชวรินทร์ ชินบุตร
วัน เดือน ปีเกิด	17 สิงหาคม พ.ศ. 2534
ที่อยู่	82 ถนนประชาชื่น-นนทบุรี 8 แยก 1 ตำบลบางเขน อำเภอเมืองนนทบุรี จังหวัดนนทบุรี 11000
ประวัติการศึกษา	2555 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณนนทบุรี
ประวัติการทำงาน	2560 – ปัจจุบัน สำนักงานคณะกรรมการนโยบายเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1.) ระบบโทรคมนาคม 2.) เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง