

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

คุณลักษณะของสมรรถนะสายอากาศแบบแถบกว้างยิ่ง
สำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์

CHARACTERIZATION OF UWB ANTENNA PERFORMANCE
FOR WIRELESS BODY AREA NETWORKS



T123068

ยวดี รุจิพัชรกุล

YUWADEE RUJIPHATCHARAKUL

อพ
พ 44 ๒ ก
๑๐๖๗

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 123068
วัน,เดือน,ปี... 1 ๘ ต.ค. 2555

b. 124๓๑๔๔๗.....
i.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2555

KMITL-2012-EN-M-230-139

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CHARACTERIZATION OF UWB ANTENNA PERFORMANCE
FOR WIRELESS BODY AREA NETWORKS



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INFORMATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2012

KMITL-2012-EN-M-230-139

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2012

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เผยแพร่เห็นประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์


หัวข้อวิทยานิพนธ์ คุณลักษณะของสมรรถนะสายอากาศแบบแถบกว้างยิ่งสำหรับโครงข่ายไร้สาย
บนร่างกายมนุษย์
Thesis Title CHARACTERIZATION OF UWB ANTENNA PERFORMANCE FOR WIRELESS BODY
AREA NETWORKS
นักศึกษา นางสาวยุวดี รุจิพัชรกุล
รหัสประจำตัว 50061006
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมสารสนเทศ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.สถาพร พรหมวงศ์
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2012-EN-M-230-139

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.สุทธิชัย	นพนาศิพงษ์	
รศ.ดร.สุวิพล	สิทธิชีวกาศ	
ศ.ดร.ประยุทธ์	อัศรเอกฉាលิน	
ดร.พนารัตน์	เชิญถนอมวงศ์	
ดร.สถาพร	พรหมวงศ์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพุธที่ 30 พฤษภาคม พ.ศ. 2555 เวลา 14.00-16.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 1

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.สุชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 30 พฤษภาคม พ.ศ. 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	คุณลักษณะของสมรรถนะสายอากาศแบบแถบกว้างยิ่งสำหรับ โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์
นักศึกษา	นางสาวยุวดี รุจิพัชรกุล
รหัสนักศึกษา	50061006
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
พ.ศ.	2555
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร.สถาพร พรหมวงศ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาคุณลักษณะของสมรรถนะสายอากาศแบบแถบกว้างยิ่ง ที่มีผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ทำให้เกิดความผิดเพี้ยนรูปแบบของคลื่น สำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์เพื่อการประยุกต์ในทางการแพทย์ไร้สาย โดยการประยุกต์สูตรการส่งผ่านของฟรีสในเทอมเชิงซ้อนมาประยุกต์ใช้สำหรับการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่ง และได้ใช้สายอากาศแบบกรวยคู่เป็นสายอากาศส่ง และสายอากาศแบบเส้นคดเคี้ยวเป็นสายอากาศรับ เพื่อการประเมินผลการวัด ส่วนการประมวลสัญญาณได้พิจารณาเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ นำเอาสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศกรวยคู่มาสหสัมพันธ์ และสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศแบบไอโซทรอปิกมาสหสัมพันธ์ ทำการวัดฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเวกเตอร์ ได้ทำการวัดในห้องไร้การสะท้อน หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ขนาดและเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอน ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน และอัตราขยายการส่งผ่าน กรณีที่มีผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ และไม่มีผลกระทบจากร่างกายมนุษย์

Thesis	Characterization of UWB Antenna Performance for Wireless Body Area Networks
Student	Miss Yuwadee Rujiphatcharakul
Student ID.	50061006
Degree	Master of Engineering
Program	Information Engineering
Year	2012
Thesis Advisor	Dr. Sathaporn Promwong

ABSTRACT

This thesis studies and focuses on the characteristics of Ultra Wideband (UWB) antenna performance causing waveform distortion which is affected by human body for Wireless Medical applications on Wireless Body Area Network (WBAN). Using Friis' transmission formula in complex form applies to UWB transmission with biconical and meander line antennas for evaluation process. Thereby, received signal of biconical and isotropic antennas will be correlated and considered in signal evaluation processing. In this case, the vector network analyzer (VNA) will be used to measure the transfer function of UWB transmission in the anechoic chamber room in order to analyze magnitude and phase of transfer function, power delay profile and transmission gain in case of the impact of human body and non-impact of human body.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีด้วยคำแนะนำ ชี้แนะแนวทางในการแก้ปัญหา และ คอยดูแลตลอดระยะเวลาที่ทำวิทยานิพนธ์นี้จาก ดร.สถาพร พรหมวงศ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุม วิทยานิพนธ์ และผศ.ดร.พิชญ์ สุพรรณกุล ที่ให้คำแนะนำ และคอยชี้แนะแนวทางเกี่ยวกับการ ศึกษาวิจัยเป็นอย่างดีมาโดยตลอด ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่าน และขอกราบ ขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาศิพงษ์, รศ.ดร.สุวิพล สิริชีวะภาค, ศ.ดร.ประยุทธ์ อัครเอกฉาลิน, ดร.พนารัตน์ เขิญถนอมวงศ์ และ ดร.สถาพร พรหมวงศ์ ที่ให้คำแนะนำ และคณาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ในห้องวิจัยทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือ และ เป็นกำลังใจให้มาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่คอยเป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุน ในทุกๆ ด้านมาโดยตลอด ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ยุวดี รุจิพัชรกุล

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.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	3
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีที่นำเสนอกับวิธีพื้นฐาน.....	4
1.6 ขอบเขตการศึกษา.....	4
1.7 ขั้นตอนของการศึกษา.....	5
บทที่ 2 ระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	7
2.1 กล่าวนำ.....	7
2.1.1 โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์และการดูแลสุขภาพทางการแพทย์.....	8
2.2 ประวัติของการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	8
2.3 ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	9
2.3.1 ข้อได้เปรียบของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง.....	10
2.4 กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	11
2.4.1 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา.....	12
2.4.2 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในยุโรป.....	13
2.4.3 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในประเทศญี่ปุ่น.....	16
2.4.4 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในประเทศเกาหลี.....	16
2.4.5 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในประเทศจีน.....	18
2.5 การประยุกต์และการนำระบบแถบกว้างยิ่งไปใช้งาน.....	18
2.5.1 การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายภายในอาคารสำนักงาน.....	18
2.5.2 การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายภายในที่พักอาศัย.....	19
2.5.3 การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์.....	20
2.6 บทสรุป.....	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และตัดอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์สัญญาณการส่งผ่านแถบกว้างยิ่ง.....	23
3.1 กล่าวนำ.....	23
3.2 ฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณระบบแถบกว้างยิ่ง.....	23
3.2.1 ผลตอบสนองความถี่ช่องสัญญาณ.....	24
3.2.2 ผลตอบสนองอิมพัลส์ช่องสัญญาณ.....	25
3.3 หลักการส่งผ่านของฟรีส.....	26
3.4 การสูญเสียเชิงวิถี.....	28
3.5 แบบจำลองการส่งผ่านสำหรับระบบแถบกว้างยิ่ง.....	29
3.6 เครื่องรับสหสัมพันธ์.....	30
3.6.1 เครื่องรับสหสัมพันธ์ด้วยสัญญาณที่รับได้.....	30
3.6.2 เครื่องรับสหสัมพันธ์ด้วยสัญญาณไอโซทรอปิก.....	31
3.7 อัตราขยายการส่งผ่าน.....	32
3.8 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน.....	33
3.8.1 การกระจายทางเวลา.....	33
3.9 บทสรุป.....	34
บทที่ 4 การจำลองและผลการทดลองวิจัย.....	35
4.1 กล่าวนำ.....	35
4.2 รูปแบบจำลองในการวัด.....	36
4.2.1 แบบจำลองของสัญญาณที่ใช้ส่ง.....	37
4.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	37
4.3.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์.....	37
4.3.2 สายอากาศที่ใช้ในการทดลอง.....	39
4.3.2.1 สายอากาศแบบกรวยคู่ (Biconical antenna).....	39
4.3.2.2 สายอากาศแบบเส้นคดเคี้ยว (Meander line antenna).....	41
4.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัด.....	42
4.5 ขั้นตอนและวิธีการในการทดลอง.....	43
4.6 ผลการทดลองวิจัย.....	43
4.6.1 ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณ.....	43
4.6.2 เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณ.....	45
4.6.3 สัญญาณที่รับได้.....	46
4.6.4 เอาดี้พุดของเครื่องรับสหสัมพันธ์ด้วยสัญญาณที่รับได้.....	48
4.6.5 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน.....	49

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.6.6 อัตราขยายการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่ง.....	51
4.7 บทสรุป.....	52
บทที่ 5 บทสรุปงานวิจัยและแนวทางการวิจัยในอนาคต.....	53
5.1 กล่าวนำ.....	53
5.2 สรุปผลของการศึกษาทดลองวิจัย.....	53
5.2.1 สรุปผลการวิเคราะห์ช่องสัญญาณกรณีที่ไม่ผลจากร่างกายมนุษย์.....	53
5.2.2 สรุปผลการวิเคราะห์ช่องสัญญาณกรณีที่มีผลจากร่างกายมนุษย์.....	54
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการวิจัยในอนาคต.....	54
บรรณานุกรม.....	56
ภาคผนวก บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวิทยานิพนธ์.....	58
ประวัติผู้เขียน.....	63

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
2.1	ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงานโดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร.....	12
2.2	ค่าของกำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิกในแต่ละระบบ.....	15
2.3	วิธีที่ใช้ในการลดการรบกวนที่นำไปใช้กับค่ากำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิก สูงสุดที่ -41.3 dBm/MHz.....	15
2.4	ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายใน และภายนอกอาคาร.....	16
4.1	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง.....	42



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	การเชื่อมต่อโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์..... 2
1.2	บล็อกไดอะแกรมของรูปแบบการส่งผ่านสำหรับระบบแถบกว้างยิ่ง..... 3
1.3	ขั้นตอนการศึกษาของงานวิจัย..... 6
2.1	เปรียบเทียบช่วงการสื่อสารของเทคโนโลยีไร้สาย..... 7
2.2	เปรียบเทียบความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่งกับระบบอื่นๆ..... 10
2.3	ข้อกำหนดสเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งโดย FCC..... 13
2.4	ข้อกำหนดสเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งโดย EU 14
2.5	ข้อกำหนดสเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งของประเทศญี่ปุ่น..... 17
2.6	ข้อกำหนดสเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งของประเทศเกาหลี..... 17
2.7	ข้อกำหนดสเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งของประเทศจีน..... 18
2.8	การนำเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานโครงข่ายภายในอาคารสำนักงาน... 19
2.9	การนำเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานโครงข่ายภายในบ้านพักอาศัย..... 19
2.10	การนำเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์..... 20
2.11	การนำเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานทางการแพทย์..... 20
2.12	การประยุกต์ใช้งานในการช่วยเหลือผู้พิการทางสายตาในการตรวจหาสัมภาระ..... 21
2.13	การประยุกต์ใช้งานในการช่วยเหลือผู้ที่มีความพิการทางสายตาในการค้นหา..... 22
3.1	บล็อกไดอะแกรมของระบบเชิงเส้น..... 24
3.2	ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของระบบในโดเมนความถี่..... 24
3.3	ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของระบบในโดเมนเวลา..... 25
3.4	การส่งผ่านสัญญาณของฟรีสในอวกาศว่าง..... 26
3.5	บล็อกไดอะแกรมของฟังก์ชันการส่งผ่านสำหรับสัญญาณแถบกว้างยิ่ง..... 27
3.6	การประยุกต์หลักการส่งผ่านของฟรีส..... 28
3.7	แผนภาพบล็อกของเครื่องรับสหสัมพันธ์ในกรณีสหสัมพันธ์ด้วยสัญญาณที่รับได้..... 30
3.8	แผนภาพบล็อกของเครื่องรับสหสัมพันธ์ในกรณีสหสัมพันธ์ด้วยสัญญาณไอโซทรอปิก..... 32
3.9	ตัวอย่างหน้าต่างการประวิงกำลังงาน..... 33
4.1	แบบแผนการทดลองวัดช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง..... 35
4.2	การจัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับการวัดในห้องปฏิบัติการสะท้อนของคลื่น..... 36
4.3	การปรับสายอากาศด้านรับในมุมมองจากด้านบน..... 36
4.4	รูปคลื่นสัญญาณที่ใช้ในการส่งของแถบกว้างยิ่งในโดเมนทางเวลา..... 38
4.5	สเปกตรัมที่ใช้ในการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่งในโดเมนทางความถี่..... 38
4.6	ส่วนประกอบของสายอากาศแบบกรวยคู่..... 39
4.7	โครงสร้างและขนาดของสายอากาศแบบกรวยคู่ (Biconical antenna)..... 40
4.8	ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ $ S_{11} $ ของสายอากาศแบบกรวยคู่..... 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 อัตราขยายของสายอากาศแบบกรวยคู่.....	41
4.10 เฟสของสายอากาศแบบกรวยคู่.....	41
4.11 สายอากาศแบบเส้นคดเคี้ยว (Meander line antenna).....	41
4.12 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ $ S_{11} $ ของสายอากาศแบบเส้นคดเคี้ยว.....	42
4.13 ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณีที่ไม่ม็ร่างกายมนุษย์.....	44
4.14 ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณีที่มีร่างกายมนุษย์.....	44
4.15 เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศกรณีที่ไม่ม็ร่างกายมนุษย์.....	45
4.16 เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศกรณีที่มีร่างกายมนุษย์.....	46
4.17 รูปคลื่นหลังสายอากาศที่รับได้กรณีที่ไม่ม็ร่างกายมนุษย์.....	47
4.18 รูปคลื่นหลังสายอากาศที่รับได้กรณีที่มีร่างกายมนุษย์.....	47
4.19 รูปคลื่นเอาต์พุตของเครื่องรับสหสัมพันธ์ด้วยสัญญาณที่รับได้กรณีที่ไม่ม็ร่างกายมนุษย์...	48
4.20 รูปคลื่นเอาต์พุตของเครื่องรับสหสัมพันธ์ด้วยสัญญาณที่รับได้กรณีที่มีร่างกายมนุษย์.....	49
4.21 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของแถบกว้างยิ่งกรณีที่ไม่ม็ร่างกายมนุษย์.....	50
4.22 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของแถบกว้างยิ่งกรณีที่มีร่างกายมนุษย์.....	50
4.23 อัตราขยายการส่งผ่านของแถบกว้างยิ่งกรณีที่ไม่ม็ร่างกายมนุษย์.....	51
4.24 อัตราขยายการส่งผ่านของแถบกว้างยิ่งกรณีที่มีร่างกายมนุษย์.....	52
5.1 การควบคุมวิทยุจากภายนอกแบบไร้สาย.....	54
5.2 Home monitoring system	55
5.3 การควบคุมการส่งกล้องแคปซูลจากภายนอก.....	55
5.4 การแลกเปลี่ยนข้อมูลกับอุปกรณ์ที่ใช้สวมใส่เพื่อสุขภาพ.....	55

บทที่ 1

บทนำ

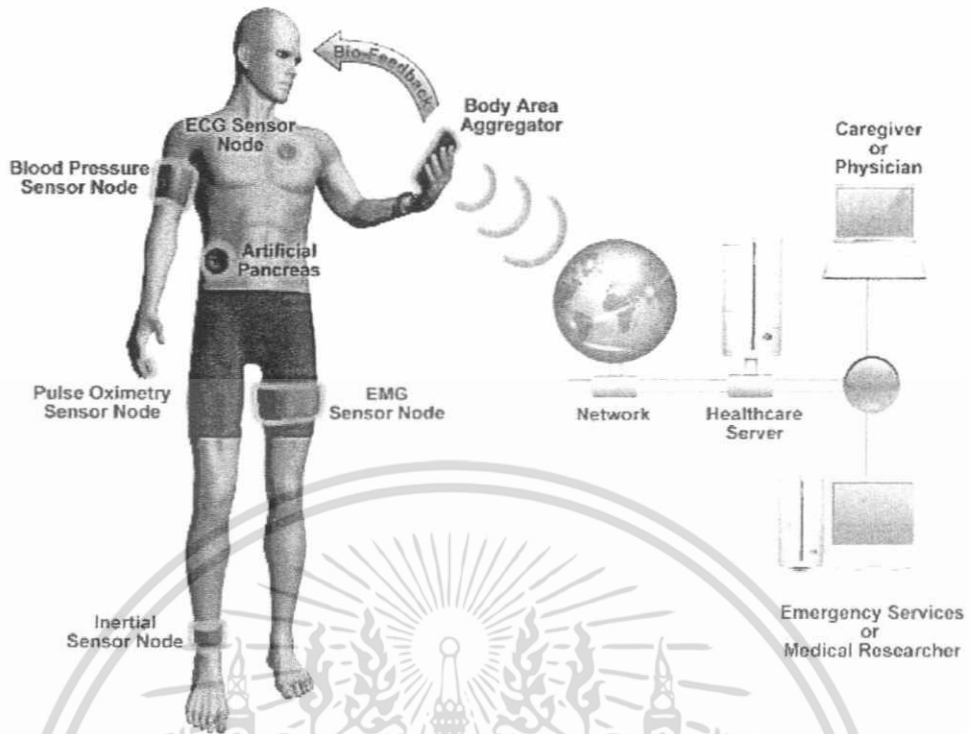
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเทคโนโลยีของการสื่อสารแบบไร้สายได้พัฒนาอย่างรวดเร็วและได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้น เพื่อเพิ่มความสะดวกรวดเร็วในการติดต่อสื่อสารเช่นการสื่อสารส่วนบุคคล การสื่อสารระยะสั้นระหว่างอุปกรณ์ภายในอาคารสำนักงาน บ้านพักอาศัย ซึ่งเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายนี้ต้องการอัตราการส่งข้อมูลที่สูง เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ได้อย่างสมบูรณ์และมีประสิทธิภาพสูงสุดจึงได้มีการนำเอาเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายที่เรียกว่าแถบกว้างยิ่ง (Ultra-wideband) เข้ามาใช้งาน โดยมีความจุช่องสัญญาณมากซึ่งเป็นคุณลักษณะเด่นและเป็นหัวใจสำคัญที่ทำให้สามารถส่งข้อมูลได้ปริมาณมาก รวมถึงยังทนทานต่อการถูกรบกวนจากสัญญาณ มีการรบกวนต่อสัญญาณระบบอื่นต่ำ และยังสามารถในการวัดความแตกต่างของระยะทางได้อย่างแม่นยำ มีการใช้กำลังงานที่ต่ำ เครื่องรับส่งสัญญาณมีความซับซ้อนต่ำ ทำให้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการสื่อสารเชิงพาณิชย์โดยเฉพาะในระบบการสื่อสารไร้สาย

การสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนั้นนับเป็นวิวัฒนาการของระบบการสื่อสารไร้สาย โดยมีการใช้แถบความถี่ในการส่งที่กว้างมากประกอบกับใช้กำลังส่งที่น้อย โดยใช้สัญญาณที่มีรูปคลื่นสัญญาณเป็นพัลส์ที่แคบมาก [1] อยู่ในระดับนาโนวินาที (Nano second :ns) ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับสัญญาณในอุดมคติที่เรียกว่าสัญญาณอิมพัลส์ (Impulse signal) โดยจะไม่มีมีการนำสัญญาณข้อมูลไปทำการมอดูเลตกับคลื่นพาห้ สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งจะใช้แบนวิทท์ในการส่งมากกว่าหรือเท่ากับ 20% ของแถบความถี่กลาง หรือมีการใช้แถบความถี่มากกว่า 500 MHz ซึ่งพบว่ามีค่ามากกว่าแถบความถี่ของระบบการสื่อสารไร้สายที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานกับระบบเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล (Wireless Personal Area Network: WPAN) ซึ่งถูกกำหนดให้อยู่ในมาตรฐานของ IEEE 802.15.3a [2] โดยจะเป็นลักษณะการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล เครื่องพิมพ์ เครื่องสแกนเนอร์ กล้องถ่ายภาพดิจิทัล กล้องถ่ายภาพวิดีโอ โดยสามารถรองรับอัตราการส่งข้อมูลที่สูงประมาณ 110 Mb/s ในระยะทาง 10 เมตร และจะมีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงขึ้นถึง 480 Mb/s ในระยะทาง 2 เมตร [3] และจากข้อกำหนดของคณะกรรมการการสื่อสารแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (Federal communication commission: FCC) เพื่อไม่ให้รบกวนกับระบบสื่อสารอื่น ระดับความแรงของสัญญาณมีค่าไม่เกิน -41.3 dBm/MHz [1]

ในการนำเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งมาใช้ในการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ภายในอาคาร สัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากจากสายอากาศ อาจถูกลดทอนกำลังงาน (Power attenuation) จากผนัง กำแพง หน้าต่าง วัสดุอุปกรณ์เครื่องใช้ต่างๆ นอกจากนี้ยังมีอีกปัจจัยหนึ่งที่สามารถส่งผลกระทบต่อช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งได้เช่นกัน นั่นก็คือ ร่างกายมนุษย์ เพราะมีความเป็นไปได้ที่ร่างกายมนุษย์จะไปรบกวนหรือบดบังเส้นทางการเดินทางของคลื่น และหากนำเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งมาใช้ในการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์โครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ไปยังเครื่องมือวัด อาจมีปัจจัยหลายอย่างส่งผลกระทบบ เช่นจากสิ่งแวดล้อม หรือร่างกายมนุษย์ ดังแสดงในรูปที่ 1.1 ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการตรวจสอบว่าร่างกายมนุษย์นั้นส่งผลอย่างไรต่อช่องสัญญาณและสายอากาศในการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 การเชื่อมต่อโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ [4]

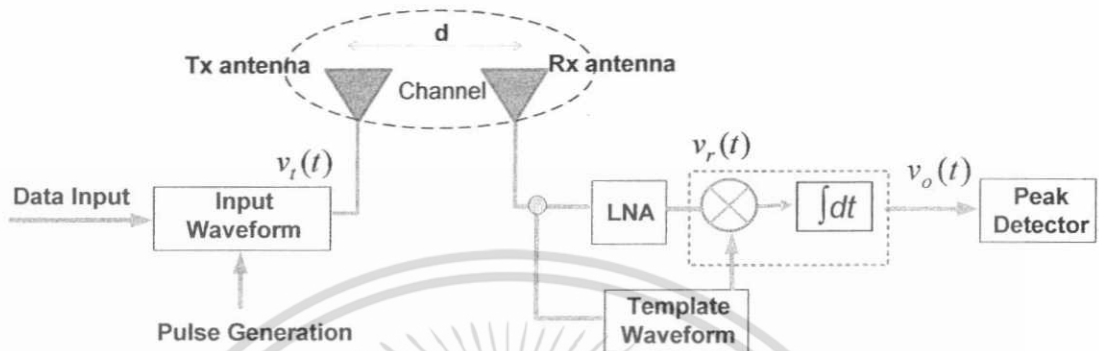
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ที่มีผลต่อช่องสัญญาณในการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่ง บนพื้นฐานการส่งผ่านของฟรีส [5] โดยได้พิจารณารูปคลื่นที่ใช้ส่งผ่าน [6] และการนำเสนอเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ (Correlation receiver) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ (Vector network analyzer: VNA) เป็นอุปกรณ์ในการวัดในห้องไร้การสะท้อนของคลื่น (Anechoic chamber) และใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ (Biconical) เป็นสายอากาศส่ง (Tx antenna) และสายอากาศแบบเส้นคดเคี้ยว (Meander line antenna) เป็นสายอากาศด้านรับ (Rx antenna) ดังวัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาคุณลักษณะของสายอากาศแถบกว้างที่ใช้บนร่างกายมนุษย์
2. เพื่อศึกษาเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง ข้อกำหนด และการประยุกต์ใช้งานของโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์
3. เพื่อศึกษาทฤษฎี และหลักการวิเคราะห์บนพื้นฐานสูตรการส่งผ่านของฟรีส (Friis' transmission formula) และการประยุกต์สูตรของฟรีสสำหรับระบบการส่งผ่านแถบกว้างยิ่ง
4. เพื่อนำเสนอเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์สำหรับระบบแถบกว้างยิ่งโดยการสหสัมพันธ์ด้วยสัญญาณที่รับได้ (Received signal template) และการสหสัมพันธ์ด้วยสัญญาณไอโซทรอปิก (Isotropic template) และจะได้ค่าอัตราส่วนของกำลังสัญญาณต่อกำลังสัญญาณรบกวนสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ได้พิจารณาใช้สายอากาศแบบแถบกว้างสองชนิด ในการประเมินผลการวัดการส่งผ่านแถบกว้างยิ่งคือสายอากาศแบบกรวยคู่ และสายอากาศแบบเส้นคดเคี้ยว
6. เพื่อทำการประเมินผลกระทบของช่องสัญญาณอันเนื่องมาจากร่างกายมนุษย์ โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่มีผลจากร่างกายและไม่มีผลจากร่างกายมนุษย์



รูปที่ 1.2 บล็อกไดอะแกรมของรูปแบบการส่งผ่านสำหรับระบบแถบกว้างยิ่ง

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากร่างกายมนุษย์ที่มีต่อช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งบนพื้นฐานของการวัด ซึ่งในขั้นตอนของการวัดภายในห้องไร้การสะท้อนของคลื่นนั้น ได้กำหนดความสูงของสายอากาศ และระยะทางระหว่างสายอากาศให้คงที่ เพื่อวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญบนพื้นฐานสูตรการส่งผ่านของฟรีส [5] และทางด้านรับได้พิจารณาใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์สองแบบมาเปรียบเทียบกันระหว่างเครื่องรับแบบสัญญาณที่รับได้และเครื่องรับแบบไอโซทรอปิกเพื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณ ผลจากการวิจัยสามารถนำมาทำการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้เหมาะสมกับการใช้งาน และประยุกต์ใช้งานกับโครงข่ายทางการแพทย์ไร้สาย เป็นต้น

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ในหัวข้อวิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาถึงผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ที่มีต่อคุณลักษณะของช่องสัญญาณคลื่นวิทยุแบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งพิจารณานบนพื้นฐานของการวัดโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ โดยใช้สายอากาศแบบกรวยคู่เป็นสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศแบบเส้นคดเคี้ยวเป็นสายอากาศทางด้านรับ ซึ่งพัฒนาขึ้นโดยบริษัท Skycross ในสหรัฐอเมริกา [7] และทางด้านรับได้นำเสนอเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ที่มีการสหสัมพันธ์ด้วยสัญญาณที่รับได้ และสหสัมพันธ์ด้วยสัญญาณไอโซทรอปิก เพื่อจะได้ค่าอัตราส่วนของกำลังสัญญาณต่อกำลังสัญญาณรบกวนสูงสุด และได้มีการประยุกต์ใช้การส่งผ่านของฟรีส (Extension Friis' transmission formula) [13] เพื่อดูความผิดเพี้ยนของสัญญาณ โดยทำการวัดตลอดช่วงความถี่ตั้งแต่ 3 GHz ถึง 11 GHz ครอบคลุมช่วงความถี่ที่กำหนดให้ใช้งาน คือตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ซึ่งถูกกำหนดโดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา [8] โดยในการวัดได้จำลองและกำหนดลักษณะวิธีการวัดอยู่ 2 แบบคือ กรณีที่มีร่างกายมนุษย์และกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์เพื่อเปรียบเทียบถึงผลที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดขึ้นต่อช่องสัญญาณ อีกทั้งยังทำการทดสอบในกรณีที่สายอากาศทางด้านรับมีการเปลี่ยนแปลงมุม โดยได้ปรับจากมุม 0 องศา ถึง 360 องศา โดยเคลื่อนที่ครั้งละ 5 องศา โดยลักษณะวิธีการวัดที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนี้กำหนดขึ้นเพื่อหาคุณลักษณะของสายอากาศว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่ ผลกระทบร่างกายมนุษย์มีผลต่อสายอากาศ หรือมีผลต่อช่องสัญญาณอย่างไร การเปรียบเทียบผลระหว่างกรณีการวัดที่มีผลจากร่างกายมนุษย์และไม่มีผลจากร่างกายมนุษย์ จะทำให้สามารถสังเกตเห็นผลกระทบที่เกิดขึ้นจากร่างกายมนุษย์ได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่เกิดการบิดบังของร่างกายอย่างสมบูรณ์นั้นจะเกิดการเปลี่ยนของพารามิเตอร์ต่าง ๆ มากกว่ากรณีอื่นๆ ซึ่งจะแสดงให้เห็นในบทต่อไป

1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน

วิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาถึงสมรรถนะสายอากาศแบบแถบกว้างยิ่งสำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์บนพื้นฐานสูตรการส่งผ่านของฟรีส แต่ไม่สามารถนำสูตรของฟรีสมาใช้งานได้โดยตรง เนื่องจากสูตรการส่งผ่านของฟรีสอธิบายอยู่ในรูปโดเมนความถี่ แต่การสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งส่งสัญญาณด้วยสัญญาณพัลส์ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้พิจารณาหาความผิดเพี้ยนของช่องสัญญาณการส่งผ่านบนร่างกายมนุษย์และมีการประยุกต์ใช้สูตรการส่งผ่านของฟรีส จากงานวิจัยของ ดร.สถาพร พรหมวงศ์ [6] ได้นำเสนอวงจรกรองแบบแมตช์ (Match filter) ซึ่งไม่สามารถสร้างใช้งานจริงได้ แต่ในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ ที่สามารถสร้างได้จริง และเพื่อได้ค่าอัตราส่วนของกำลังสัญญาณต่อกำลังสัญญาณรบกวนสูงสุด

1.6 ขอบเขตการศึกษา

วิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาผลกระทบของร่างกายมนุษย์ที่มีต่อช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งในขั้นตอนของการวัดภายในห้องไร้การสะท้อนของคลื่นได้ทำการกำหนดตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับสภาวะแวดล้อม ความสูงของสายอากาศ ระยะทางระหว่างสายอากาศทั้งสององค์ประกอบให้คงที่เพื่อนำผลที่ได้จากการวัดมาทำการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญบนทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของการส่งผ่านของฟรีส จากนั้นได้ทำการศึกษาและประเมินค่าประสิทธิภาพของสัญญาณและรูปคลื่นสัญญาณพัลส์ทางด้านรับ โดยใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์สองแบบมาเปรียบเทียบกันระหว่างเครื่องรับแบบสัญญาณที่รับได้และเครื่องรับแบบไอโซทรอปิก เพื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณในกรณีที่มีผลและไม่มีผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ ซึ่งจะพิจารณาคุณสมบัติของขนาดและเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอน ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ และอัตราการขยายสัญญาณ ผลจากการวิจัยสามารถนำมาทำการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้เหมาะสมกับการใช้งาน และประยุกต์ใช้งานกับโครงข่ายทางด้านการแพทย์ไร้สาย

1.7 ขั้นตอนการศึกษา

จากแนวคิดและหลักการที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น สามารถสรุปเป็นขั้นตอนการศึกษาสำหรับวิทยานิพนธ์นี้เป็น 5 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงบทนำ ซึ่งประกอบไปด้วยความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมติฐานของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย ขอบเขตและขั้นตอนการวิจัย

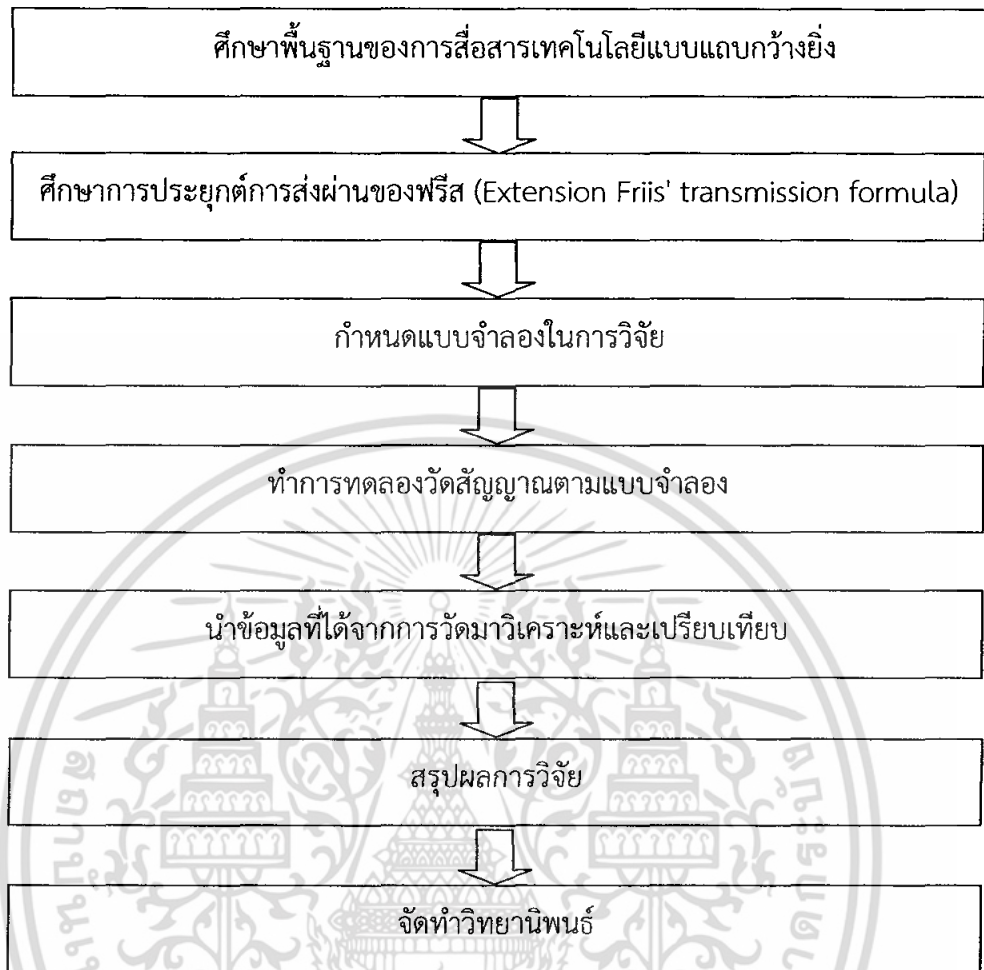
บทที่ 2 กล่าวถึงเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายแบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งประกอบด้วยบทนำ ประวัติความเป็นมาของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง การสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง ข้อบังคับของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งและบทสรุป

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีและการวิเคราะห์สัญญาณในการส่งผ่านของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งประกอบไปด้วยบทนำ ฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณระบบแถบกว้างยิ่ง ทฤษฎีการสูญเสียเชิงวิถี การวิเคราะห์ระบบแถบกว้างยิ่งโดยใช้หลักการพื้นฐานของพริส อัตราการขยายแถบกว้างยิ่ง และบทสรุป

บทที่ 4 กล่าวถึงขั้นตอนการวัดช่องสัญญาณ แบบจำลองช่องสัญญาณ และผลการทดลองวิจัย ซึ่งประกอบด้วยบทนำ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองวิจัย รูปแบบจำลองการวัดและนำเสนอผลการทดลองวิจัยและทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบในกรณีที่มีร่างกายมนุษย์และไม่มีร่างกายมนุษย์ มาดบังสายอากาศ โดยประเมินผลการวัดและการวิเคราะห์บนพื้นฐานการส่งผ่านของพริสสำหรับการส่งผ่านแถบกว้างยิ่งและบทสรุป

บทที่ 5 บทสรุป ผลการวิจัย และข้อเสนอแนะแนวทางการวิจัยในอนาคต

แบบแผนการศึกษาของงานวิจัย



รูปที่ 1.3 ขั้นตอนการศึกษาของงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

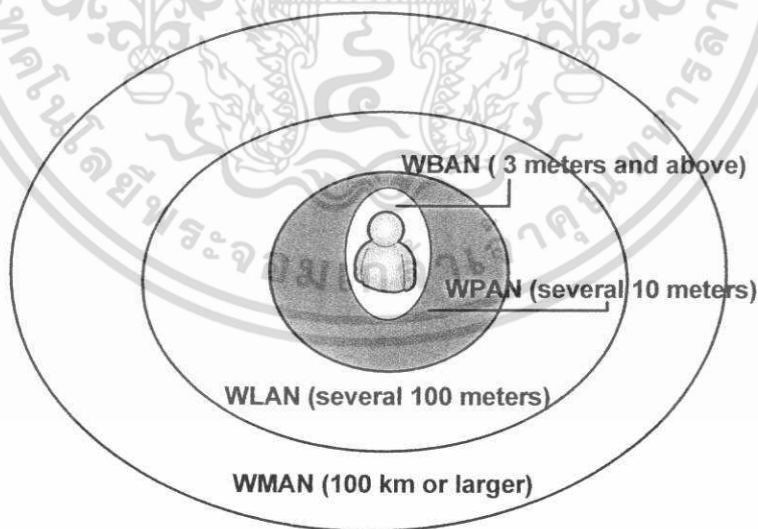
ระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

2.1 กล่าวนำ

โครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ (Body Area Network: BAN) ได้ถูกกล่าวถึงครั้งแรกในส่วนของโครงข่ายส่วนบุคคล (Personal Area network: PAN) และ Zimmermann ได้รับการยกย่องในการสร้างสรรค์แนวคิดเรื่องโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ โดยมีพื้นฐานจากงานของเขาที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งแมสซาชูเซตส์ (Massachusetts Institute of Technology: MIT) และที่บริษัทไอบีเอ็มเขาได้พูดถึงการรวมกันของอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่มีขนาดเล็ก และการเชื่อมต่อสื่อสารไร้สายระยะสั้น การเชื่อมต่อนั้นถูกสร้างขึ้นผ่านการติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ใกล้เคียงน้อยกว่า 2 เมตร ในปี 2004 โครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ ได้อธิบายสภาพแวดล้อมรวมถึงบริเวณที่ใกล้ที่สุดซึ่งก็คือส่วนหนึ่งของร่างกายมนุษย์

คณะกรรมการจากสถาบันวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Institute of Electrical and Electronics Engineers: IEEE) 802.15 ได้ตั้งคณะกรรมการกลุ่ม 6 หรือที่เรียกว่า IEEE 802.15.6 เพื่อกำหนดมาตรฐานของโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ (Wireless body area network: WBAN)

รูปที่ 2.1 แสดงขอบเขตของระบบการสื่อสารไร้สายอื่นๆ โดยจะเห็นว่าโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ได้นำเสนอวิธีการของการสื่อสารระยะสั้นเพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่อยู่รอบๆร่างกายมนุษย์โดยคำนึงถึงความปลอดภัยของร่างกายด้วย โดยสามารถนำมาใช้กับการสื่อสารทางการแพทย์ การดูแลสุขภาพ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในร่างกายมนุษย์



รูปที่ 2.1 เปรียบเทียบช่วงการสื่อสารของเทคโนโลยีไร้สาย [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบการสื่อสารไร้สายแบบบนร่างกายมนุษย์และระบบการสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล มีเทคโนโลยีและแนวคิดที่ใกล้เคียงกัน แต่อย่างไรก็ตามยังคงมีส่วนที่แตกต่างกันเช่น อุปกรณ์ของสื่อสารไร้สายบนร่างกายมนุษย์ สามารถอยู่บนร่างกายหรือภายในร่างกายมนุษย์ได้โดยมีความปลอดภัยกับอวัยวะและชิ้นส่วนของร่างกายมนุษย์ ในส่วนของช่องสัญญาณของสื่อสารไร้สายบนร่างกายมนุษย์ ได้ถูกนำเสนอด้วยคุณลักษณะที่แตกต่างกับ การสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล เนื้อเยื่อของร่างกายมนุษย์ที่เป็นตัวกลางซึ่งประกอบไปด้วยไขมัน น้ำ ทำให้การแพร่กระจายถูกลดทอนเร็วกว่าในแบบอวกาศว่าง และรูปแบบของสายอากาศอาจจะมีผลกระทบกับร่างกายมนุษย์

วิศวกรหรือนักออกแบบต้องเผชิญกับงานที่ทำหยาบความสามารถในการสร้างหรือออกแบบอุปกรณ์ เช่น ต้องอยู่ในกฎระเบียบข้อบังคับ รูปแบบช่องสัญญาณ การใช้พลังงานที่ต่ำ ผลกระทบของอุณหภูมิ สายอากาศและการสูญเสียบนร่างกายมนุษย์ การสื่อสารที่มีประสิทธิภาพ อัตราการส่งข้อมูลที่เหมาะสม และมีความน่าเชื่อถือสูง เป็นต้น

2.1.1 โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์และการดูแลรักษาสุขภาพทางการแพทย์

ในการประยุกต์ใช้งานของโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์แบบไร้สายจะใช้สำหรับการรักษาดูแลสุขภาพ การตรวจวัดสมรรถนะของร่างกาย การติดตามเฝ้าดูอาการผู้ป่วย โดยจะมีการติดตั้งเซนเซอร์ตำแหน่งต่างๆ ของร่างกายมนุษย์ โดยที่อุปกรณ์ดังกล่าวสามารถส่งสัญญาณข้อมูลกลับมายังผู้ใช้งานหรือแพทย์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์อาการ หรือเฝ้าระวังอาการของผู้ป่วย เพื่อป้องกันและทำให้ตรวจพบโรคก่อนได้

ในช่วงสองสามปีที่ผ่านมาได้มีการเพิ่มจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดสุขภาพ ตรวจสอบรูปคลื่น ตรวจสอบสิ่งผิดปกติต่างๆที่เกิดขึ้น การตรวจวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าหัวใจแบบพกพาที่มีการใช้เซนเซอร์ที่มีราคาแพงและซับซ้อน ถึงแม้จะได้รับการยอมรับในวงกว้างในระบบปัจจุบันก็ตาม แต่ยังคงถูกจำกัดด้วยราคาและการใช้งาน

ระบบการตรวจสอบทางการแพทย์ส่วนบุคคลมีการใช้เพื่อเก็บข้อมูลเพียงอย่างเดียว ส่วนการประมวลผลและการวิเคราะห์นั้นถูกดำเนินการแบบออฟไลน์ ทำให้อุปกรณ์ใช้งานได้ไม่ต่อเนื่องและอาจทำให้มีความผิดปกติในการตรวจสอบทางการแพทย์ ระบบที่ประกอบไปด้วยเซนเซอร์จำนวนมากเพื่อใช้ในการฟื้นฟูสภาพร่างกายมีการเชื่อมต่อสายไฟระหว่างตัวเซนเซอร์กับระบบตรวจสอบสายไฟดังกล่าวอาจทำให้ผู้ป่วยไม่สามารถทำกิจกรรมบางอย่างได้อย่างสะดวกสบาย ส่งผลทำให้มีผลกระทบกับข้อมูลที่วัดได้ และเหตุผลนี้เองทำให้มีการสร้างระบบตรวจสอบสุขภาพร่างกายแบบไร้สายซึ่งใช้ในระบบ WBAN

2.2 ประวัติของการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง มีประวัติย้อนหลังมายาวนานตั้งแต่สมัยที่ มาร์โคนี (Marconi) ได้ทดลองสาธิตโดยใช้เครื่องรับ-ส่งเป็นแบบสปาร์กแก๊ป (Spark gap) ในการส่งสัญญาณวิทยุแบบอิมพัลส์ข้ามมหาสมุทรแอตแลนติกในปี 1901 ต่อมาในปี ค.ศ. 1962 ได้ประดิษฐ์เครื่องส่งวิทยุแถบกว้างยิ่งโดยใช้หลักการส่งผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในโดเมนทางเวลา และได้ถูกนำไปใช้ในการส่งสัญญาณในเครือข่ายไมโครเวฟในปี ค.ศ. 1963-1966 ซึ่งมีการแนวทางในการพัฒนาว่าต้องมีรูปแบบที่ง่ายและไม่ซับซ้อน โดยใช้คุณลักษณะของการตอบสนองความถี่ เช่น ขนาดของสัญญาณ และเฟส ซึ่งทำให้สามารถวิเคราะห์คุณลักษณะของช่องสัญญาณได้ โดยได้ใช้เครื่องออสซิลอสโคปในการสุ่มค่าของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ทางวิชาการสงวนลิขสิทธิ์ไว้โดยผู้จัดทำเพื่อใช้ในเชิงวิชาการ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณ เพื่อมาทำการวิเคราะห์และพัฒนาเครือข่ายในระบบไมโครเวฟ และรูปแบบของสัญญาณที่ใช้ในการส่งผ่าน

เทคนิคในการวัดค่าสัญญาณนั้นแรกเริ่มได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับแถบความถี่กว้างในปี ค.ศ. 1968 ซึ่งทำให้เกิดการพัฒนาสัญญาณที่มีขนาดแคบได้อย่างรวดเร็ว และได้ถูกนำไปใช้ในการส่งสัญญาณติดต่อสื่อสารแบบเรดาร์ ในปี ค.ศ. 1972 และในปีถัดมาเครื่องออสซิลอสโคป ที่ใช้การวิเคราะห์ ความถี่ที่สูงขึ้นก็ได้ถูกสร้างขึ้น จึงทำให้มีการกำหนดแถบความถี่กว้างยิ่งในปี ค.ศ. 1973 ต่อมาในปี ค.ศ. 1980 นั้นก็ได้มีการกำหนดให้เทคโนโลยีแถบความถี่กว้างยิ่งนี้ไม่จำเป็นต้องใช้คลื่นพาห์ ในการส่งสัญญาณเหมือนอย่างแถบความถี่กว้างอีกต่อไป และเป็นจุดที่แตกต่างจากการส่งคลื่นวิทยุแบบอื่นที่มีมาก่อนหน้านั้น และต่อมาได้มีการพัฒนาในประเทศสหรัฐอเมริกาต่อในปี ค.ศ. 1989

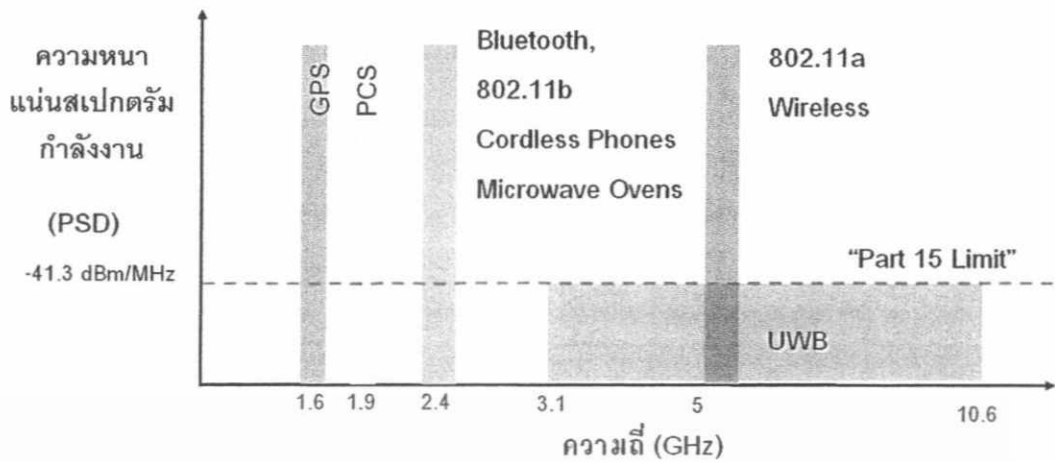
ในช่วงเวลาเกือบ 30 ปี ทฤษฎีของแถบความถี่กว้างยิ่งได้ถูกพัฒนาทั้งด้านเทคนิคและอุปกรณ์ ตัวอย่าง เช่น ในปี ค.ศ. 1989 สเปนอร์รี ได้จดสิทธิบัตรมากกว่า 50 ชิ้น เกี่ยวกับการสร้างสัญญาณแถบความถี่กว้างยิ่งและวิธีในการรับส่งสัญญาณ และการนำแถบความถี่กว้างยิ่งได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้งานหลากหลายรูปแบบ เช่น ในการติดต่อสื่อสารในระบบเรดาร์ การป้องกันการชนกันของคลื่นมือถือ, ระบบบอกพิกัด และ ตรวจวัดระดับของเหลว โดยใช้คุณลักษณะของแถบความถี่กว้างยิ่ง

โดยตั้งแต่ปี ค.ศ. 1994 เทคโนโลยีแถบความถี่กว้างยิ่งได้ถูกพัฒนาเพื่อใช้ในระบบการติดต่อสื่อสารอย่างรวดเร็วโดยรัฐบาลสหรัฐอเมริกา จนปี ค.ศ. 1998 ได้มีการเริ่มพิจารณามาตรฐานและข้อกำหนด

เดือนพฤษภาคมปี ค.ศ. 2000 ทางคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission: FCC) ได้ออกหนังสือ Notice of Proposed Rule Making (NPRM) ซึ่งเชิญชวนให้หน่วยงานต่าง ๆ นำเสนอข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่จะนำมาใช้ปรับปรุงแก้ไขกฎข้อบังคับของ FCC เพื่อควบคุมและจำกัดกำลังส่งสัญญาณของระบบแถบกว้างยิ่ง โดยข้อบังคับใหม่นี้ได้ถูกประกาศออกมาใช้งานในเดือนกุมภาพันธ์ปี ค.ศ. 2002 [10]

2.3 ระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง

ระบบแถบกว้างยิ่งเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่แตกต่างจากการสื่อสารทางคลื่นความถี่วิทยุแบบอื่น ๆ โดยจุดเด่นของระบบแบบแถบกว้างยิ่งคือ เป็นระบบสื่อสารที่ไม่ต้องใช้คลื่นพาห์เหมือนในระบบอื่น สัญญาณของระบบแบบแถบกว้างยิ่งจะเป็นสัญญาณพัลส์ (Pulse signal) โดยจะเป็นพัลส์แคบๆ ขนาดประมาณ 0.2 นาโนวินาที จึงทำให้มีความหนาแน่นแถบความถี่ (Spectral density) ที่กว้างมาก ดังนั้นจึงแผ่กระจายครอบคลุมช่วงความถี่ได้กว้างในระดับ GHz และระบบนี้มีแบนด์วิดท์ที่กว้างมากจึงทำให้สามารถที่จะรองรับอัตราการส่งข้อมูลได้สูงถึง 110 Mb/s ในระยะทางประมาณ 10 เมตร และเนื่องจากสัญญาณพัลส์ที่ใช้มีขนาดที่แคบมากจึงทำให้ช่วงใช้งาน (Duty cycle) มีค่าต่ำจึงทำให้ระบบมีการใช้กำลังที่ต่ำลงไปด้วยในรูปที่ 2.2 แสดงให้เห็นถึงระดับความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่งโดยเปรียบเทียบกับระบบอื่น ๆ



รูปที่ 2.2 เปรียบเทียบความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่งกักระบบอื่นๆ [2]

2.3.1 ข้อได้เปรียบของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง

ระบบแถบกว้างยิ่งเป็นระบบที่มีข้อได้เปรียบที่น่าสนใจสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบสื่อสารหลากหลายประเภทเช่น

- กำลังงานในการส่งต่ำ

จากข้อกำหนดโดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาได้กำหนดให้กำลังงานในการส่งนั้นมีค่าสูงสุดไม่เกิน -41.3 dBm ทำให้มีการแพร่กระจายกำลังงานในระดับต่ำประมาณระดับของสัญญาณระบบกวน (Noise floor) จึงทำให้ระบบอื่นมองว่าสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนี้คือสัญญาณรบกวน เสี่ยงถูกกำจัดออกจากการพิจารณาของระบบ ทำให้ไม่มีผลกระทบต่อระบบอื่นๆ

- มีอัตราการส่งข้อมูลสูง

ในระบบแถบความถี่กว้างยิ่งนั้นมีการส่งข้อมูลด้วยความถี่ในย่าน 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ซึ่งเห็นได้ว่าเป็นแถบความถี่ที่กว้างมากและมีความถี่สูงจึงทำให้อัตราการส่งข้อมูลสูงประมาณ 110 Mb/s ในระยะทาง 10 เมตร และมีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงขึ้นในระยะทางที่สั้นลงโดยอัตราการส่งสูงถึง 480 Mb/s ที่ระยะทางประมาณ 2 เมตร

- เป็นระบบที่มีต้นทุนต่ำ

ระบบแถบความถี่กว้างยิ่งเป็นระบบที่มีต้นทุนที่ต่ำเนื่องจากการส่งสัญญาณนั้นไม่เหมือนกับระบบการส่งสัญญาณวิทยุแบบอื่นๆ โดยเครื่องส่งจะทำการสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความถี่สูงทำให้ความกว้างของสัญญาณแคบมากๆ ทำให้สามารถแพร่กระจายคลื่นโดยไม่จำเป็นต้องมีคลื่นพาห์และไม่ต้องมีวงจรในส่วนของการรวมสัญญาณวิทยุ และการเพิ่มกำลังให้สูงขึ้นและในส่วนของภาครับไม่มีวงจรรวมผลิตความถี่ (Mixer) ทำให้ลดความซับซ้อนของระบบและต้นทุนในการผลิตลงไปมาก

- มีความละเอียดสูงในโดเมนเวลาสำหรับกำหนดตำแหน่ง

ด้วยพัลส์ที่มีลักษณะทางโดเมนเวลาที่แคบมาก ๆ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าเป็นพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณน้อยมาก ๆ นั้นหมายถึง ระบบคลื่นวิทยุแบบแถบกว้างยิ่งมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถควบคุมจังหวะและคำนวณเวลาได้อย่างถูกต้องแม่นยำมากกว่าระบบดาวเทียมบอกพิกัด (Global positioning system: GPS) และระบบคลื่นวิทยุแบบอื่น ๆ อีกทั้งด้วยคุณสมบัติในการทะลุผ่านวัสดุได้ดีจึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งที่มีการมอดูเลตทางเวลาถูกนำมาใช้งานในระบบเรดาร์ ไม่ว่าจะเป็นกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลที่แตกต่างและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะสั้น เช่นในการช่วยเหลือชีวิตและปฏิบัติการป้องกันอาชญากรรม เช่นเดียวกับการใช้ในงานสำรวจและในอุตสาหกรรมการทำเหมือง เป็นต้น

2.4 กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ ได้ถูกกำหนดการใช้งานคลื่นวิทยุ และคลื่นความถี่ ตามกฎข้อบังคับของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ ที่ดูแลเกี่ยวกับการบริหารคลื่นความถี่ (International Telecommunication Union, Radiocommunication Sector: ITU-R) และในแต่ละประเทศจะมีองค์กรที่จัดการเรื่องกฎข้อบังคับต่างๆ เช่น FCC คณะกรรมาธิการยุโรป (European Commission: EC) กระทรวงอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสารสนเทศ (Ministry of Industry and Information Technology: MIIT) ของประเทศจีน กระทรวงการปกครองและการสื่อสารภายในประเทศ (Ministry of Internal Affairs and Communications: MIC) ของประเทศญี่ปุ่น

นอกจากจะจัดการบริหารคลื่นความถี่วิทยุแล้วยังดูแลด้านความเสี่ยงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีผลต่อสุขภาพของมนุษย์ องค์กรที่เรียกว่า The International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) มีการกำหนดเกณฑ์ปลอดภัยหรือขีดจำกัด (ค่าสูงสุด) ของการแผ่คลื่นในย่านความถี่ต่าง ๆ โดยใช้ค่าอัตราการดูดกลืนพลังงานจำเพาะ (Specific Absorption Rate: SAR) หมายถึง อัตราที่พลังงานถูกดูดกลืนโดยเนื้อเยื่อของร่างกาย มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อกิโลกรัม (W/kg) ซึ่งเป็นหน่วยวัดของจำนวนพลังงานความถี่วิทยุที่ดูดซับโดยร่างกายเมื่อทำการใช้โทรศัพท์มือถือ

เนื่องจาก WBAN ถูกใช้งานในช่วงที่จำกัดคือรอบๆร่างกายมนุษย์ และเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายได้กำหนดให้มีการสื่อสารระยะสั้น โดยมีการใช้ระดับรังสีที่ต่ำและมีการใช้พลังงานที่ต่ำ และเทคโนโลยีที่สามารถใช้งานร่วมกับ WBAN ได้มีดังนี้ เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายแบบแถบกว้างยิ่ง (UWB) โครงข่ายไร้สายส่วนบุคคล (WPAN) ที่ใช้แถบความถี่ ISM (Industrial, Scientific and Medical) โดยความถี่ที่สามารถใช้งานร่วมกับ WBAN โดยได้กำหนดในแถบความถี่ MICS (Medical Implant Communication Service) และ Wireless Medical Telemetry Service (WTMS)

ข้อกำหนดที่สำคัญได้ถูกกำหนดขึ้นมาใช้ในการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งคือ การจัดสรรความถี่ในการใช้งานเพื่อไม่ให้เกิดการรบกวนกันกับระบบเดิมที่ใช้อยู่ ซึ่งในแต่ละประเทศได้มีการกำหนดกฎข้อบังคับในการใช้งานของระบบแถบกว้างยิ่งตามความเหมาะสมของกิจการโทรคมนาคมของประเทศนั้นๆ เช่นญี่ปุ่น เกาหลี จีน และอีกหลายๆประเทศที่กำลังพัฒนาระบบการสื่อสาร ซึ่งในสหรัฐอเมริกา มีกลุ่มทำงานที่ชื่อว่า “Ultra-Wideband Working Group (UWBWG)” ได้พยายามทำการถอดถอนการจำกัดของข้อกำหนดในการใช้งานช่วงความถี่ของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งจากกฎข้อบังคับเดิมของคณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาเพื่อทำการเจรจาข้อตกลงร่วมกันเช่นเดียวกับในยุโรปก็ได้มีการหาข้อตกลงการจัดสรรคลื่นความถี่และการแทรกสอดของคลื่นวิทยุซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีการกำหนดแถบความถี่สำหรับการใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่งในสถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป (European Telecommunications Standards Institute: ETSI) หรือ สหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International telecommunication union: ITU)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา

ในปี ค.ศ. 1998 FCC ได้ออกประกาศเกี่ยวกับการตรวจสอบหรือ Notice of Inquiry (NOI) เนื่องจากมีความเป็นห่วงว่าจะมีผลต่อการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบที่มีอยู่เดิมและระบบความปลอดภัยในกิจการการบินและทิศทางในการค้นคว้าเกี่ยวกับเครื่องส่งในระบบแถบกว้างยิ่งด้วยเช่นกัน

เมื่อเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งได้ถูกเสนอสำหรับการนำมาใช้ในกิจการการสื่อสารของพลเรือน ซึ่งยังไม่ได้มีการกำหนดใดๆ สำหรับลักษณะสัญญาณที่จะนำมาใช้ จึงได้มีหน่วยงานหนึ่งที่ชื่อว่า DARPA (Defense Advanced Research Project Agency) ได้ทำการออกข้อกำหนดฉบับที่หนึ่งสำหรับสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งซึ่งอยู่บนพื้นฐานอัตราส่วนแบนด์วิดท์ B_f ของสัญญาณโดยต้องมีค่ามากกว่า 25% ของแถบความถี่กลาง หรือมีการใช้แถบความถี่มากกว่าหรือเท่ากับ 500 MHz โดยสามารถกำหนดได้ตามสมการที่ 2.1 [11]

$$B_f = 2 \frac{f_H - f_L}{f_H + f_L} \quad (2.1)$$

โดยที่ f_L คือ ความถี่ต่ำสุดและ f_H คือความถี่สูงสุดของแถบความถี่ที่ใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่ง

ในเดือนกุมภาพันธ์ ปี ค.ศ. 2002 FCC ได้ออกกฎสำหรับระบบแถบกว้างยิ่งซึ่งเป็นการกำหนดขอบเขตของการแพร่กระจายกำลังงานฉบับที่หนึ่งสำหรับระบบแถบกว้างยิ่ง และยังอนุญาตให้เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในลักษณะทางการค้าอีกด้วย โดยรายงานล่าสุดของคำประกาศและระเบียบการฉบับที่หนึ่งได้เผยแพร่ต่อสาธารณชนในเดือนเมษายน ปี ค.ศ. 2002 ซึ่งในเอกสารได้กล่าวถึงการอนุญาตใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่งและการกำหนดขอบเขตการแพร่กระจายพลังงานสำหรับการใช้ในประเภทต่าง ๆ โดยจากนิยามข้างต้นได้ทำการลดค่าการจำกัด B_f ไว้ มากกว่าหรือเท่ากับ 0.20 ตามสมการที่ 2.1 และข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC ได้แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.1 สำหรับใช้ในการสื่อสารข้อมูลทั้งภายในและภายนอกอาคาร

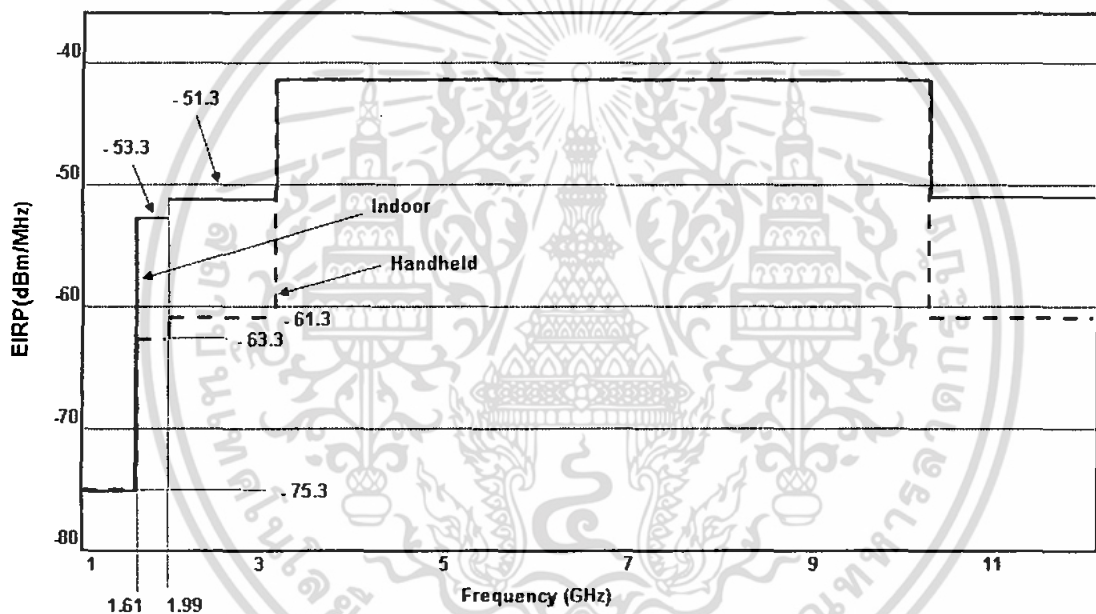
ตารางที่ 2.1 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงานโดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร [11]

ความถี่ [MHz]	ภายในอาคาร	ภายนอกอาคาร
	EIRP in dBm	EIRP in dBm
960 – 1,610	-75.3	-75.3
1,610 – 1,990	-53.3	-63.3
1,990 – 3,100	-51.3	-61.3
3,100 – 10,600	-41.3	-41.3
สูงกว่า 10,600	-51.3	-61.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิก (Equivalent Isotropically Radiated Power: E.I.R.P.) สำหรับเครื่องส่งของการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งจะถูกกำหนดค่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงาน โดยการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งจะมีการใช้งานภายในอาคารหรือภายนอกอาคาร รูปที่ 2.3 เปรียบเทียบค่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของการใช้งานภายในอาคารและภายนอกอาคาร จะเห็นได้ว่าค่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานมีค่าเท่ากันในช่วงความถี่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz อย่างไรก็ตามค่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานภายนอกอาคารมีค่าน้อยกว่าระดับภายในอาคาร อยู่ 10 dB จะอยู่ในช่วงความถี่ 1.61 GHz ถึง 3.1 GHz และช่วงความถี่มากกว่า 10.6 GHz

กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกาได้ถูกรวบรวมอยู่ในข้อกำหนดของกำลังงานที่แพร่กระจายออกมาจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Part 15 limit) ของกฎหมายรัฐบาลกลาง (Code of Federal Regulations) และอุปกรณ์ของระบบแถบกว้างยิ่งอาจจะไม่สามารถใช้ในของเล่น และเป็นสิ่งที่ต้องห้ามในการใช้งานบนเครื่องบิน เรือ และระบบดาวเทียม



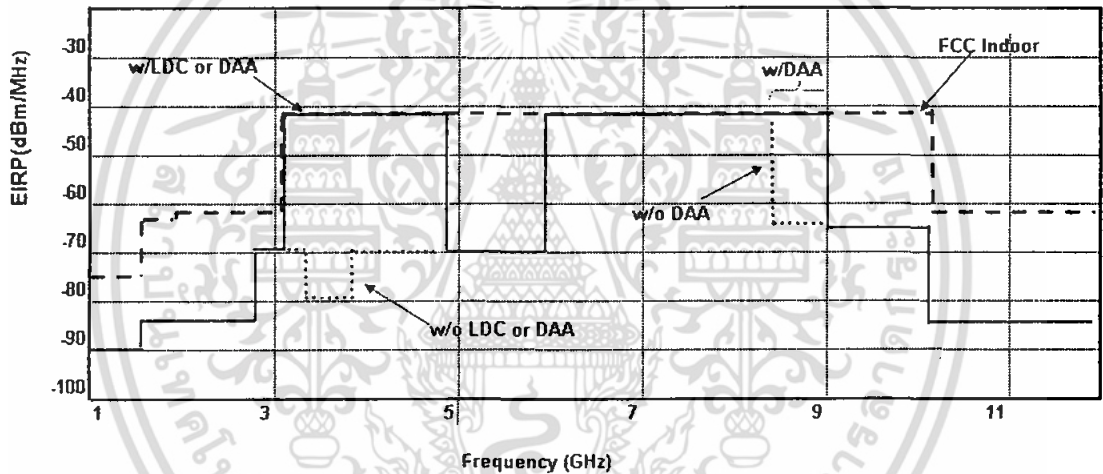
รูปที่ 2.3 ข้อกำหนดสเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งโดย FCC [9]

2.4.2 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในยุโรป

ในยุโรปมีการกำหนดกฎข้อบังคับของการสื่อสารบนร่างกายอยู่ 3 มาตรฐาน คือของสหภาพยุโรป European Union: EU) มาตรฐานการส่งสัญญาณที่ใช้ในยุโรป (Conference of European Posts and Telecommunications Administration: CEPT) และองค์การสร้างมาตรฐานของอุตสาหกรรมสื่อสารของกลุ่มประเทศยุโรป (European Telecommunication Standard Institute: ETSI) โดยจะอธิบายเฉพาะในส่วนของค่าเฉลี่ยกำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิก เนื่องจากระบบแถบกว้างยิ่งในยุโรปมีการใช้การปล่อยพลังงานสูงสุดเหมือนของระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา

ระบบแถบกว้างยิ่งในยุโรปให้ค่านิยามของแบนด์วิดท์ที่แตกต่างกับระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา โดยที่ค่าระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกามีค่าแบนด์วิดท์ต่ำสุดอยู่ที่ 50 MHz การคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่นเดียวกับระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกาแบนด์วิดท์ที่ใช้ทดสอบ ณ ตำแหน่งที่ต่ำกว่าระดับสูงสุดของการแพร่กระจายลงมา 10 dB ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานสำหรับการใช้งานภายในอาคารได้ถูกกำหนดไว้ดังรูป 2.5 และที่ระบบแถบกว้างยิ่งที่ความถี่ต่ำ ค่าสูงสุดของกำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิก มีค่า -41.3 dBm/MHz โดยสามารถใช้งานได้ในช่วงความถี่ 3.1-4.8 GHz โดยมีช่วงการใช้งานต่ำ (Low duty cycle :LDC) หรือ Detect-and-avoid (DAA) แต่หากไม่ได้ใช้ LDC หรือ DAA แล้วค่ากำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิกจะอยู่ที่ -70 dBm/MHz (-80 dBm/MHz ในช่วงความถี่ 3.4 GHz ถึง 3.8 GHz) อย่างไรก็ตามค่า -41.3 dBm/MHz สามารถใช้งานในช่วงความถี่ 4.2 GHz ถึง 4.8 GHz เมื่อไม่มีการใช้ LDC หรือ DAA จนถึงสิ้นปี 2010 ที่ระบบแถบกว้างยิ่งที่ความถี่สูง ค่ากำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิกสูงสุด คือ -41.3 dBm/MHz ในช่วงความถี่ 6 GHz ถึง 8.5 GHz และในช่วงความถี่ 8.5-9GHz จะมีค่ากำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิกสูงสุด ที่ -65 dBm/MHz การทำ LDC หรือ DAA เป็นวิธีการลดการรบกวนจากอุปกรณ์ของระบบแถบกว้าง กับระบบไร้สายที่มีอยู่



รูปที่ 2.4 ข้อกำหนดสเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งโดย EU [9]

กลไกในการตรวจสอบและหลีกเลี่ยงเป็นที่รู้จักและถูกใช้ในระบบแถบกว้างยิ่งที่มีระดับการแพร่กระจายที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับดำเนินการในแต่ละภาคส่วน ตารางที่ 2.2 แสดงให้เห็นถึงค่าของกำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิกในแต่ละระบบ

ช่วงใช้งานกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ของคาบสัญญาณของอุปกรณ์ระบบแถบกว้างยิ่งในช่วงเวลาที่กำหนด พารามิเตอร์ LDC โดยได้ถูกนิยามครั้งแรกในสหภาพยุโรป ดังนี้

- ค่าสูงสุดของ Tx on น้อยกว่าหรือเท่ากับ 5 มิลลิวินาที
- ค่าเฉลี่ยต่ำสุดของ Tx off มากกว่าหรือเท่ากับ 38 มิลลิวินาที (ค่าเฉลี่ยกลางมากกว่า 1 วินาที)
- ค่าต่ำสุดสะสมของ Tx off มากกว่าหรือเท่ากับ 950 มิลลิวินาที ใน 1 วินาที
- ค่าสูงสุดสะสมของ Tx on 18 วินาทีใน 1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมกำลังงานส่ง (Transmit power control: TPC) เป็นวิธีการลดการรบกวนของสหภาพยุโรป สำหรับอุปกรณ์ระบบแถบกว้างยิ่งที่ติดตั้งบนถนนหรือรถไฟสามารถใช้งานกับค่ากำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิกสูงสุดที่ -41.3 dBm/MHz ในช่วงความถี่ 3.1 GHz ถึง 4.8 GHz, 6 GHz ถึง 8.5 GHz และ 8.5 GHz ถึง 9 GHz และตารางที่ 2.3 ได้สรุปวิธีที่ใช้ในการลดการรบกวนที่นำไปใช้กับค่ากำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิกสูงสุดที่ -41.3 dBm/MHz

ตารางที่ 2.2 ค่าของกำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิกในแต่ละระบบ [9]

ระบบและช่วงความถี่ [GHz]	Max. EIRP in Zone1 dBm/MHz	Threshold 1 dBm	Max. EIRP in Zone2 dBm/MHz	Threshold 2 dBm	Max. EIRP in Zone3 dBm/MHz
Radiolocation S-band: 3.1-3.4	-70	-38	-41.3	-	-
BWA 3.4-3.8	-80	-38	-65	-61	-41.3
Radiolocation X-band: 8.5 -9	-65	-61	-41.3	-	-

ตารางที่ 2.3 วิธีที่ใช้ในการลดการรบกวนที่นำไปใช้กับค่ากำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิกสูงสุดที่ -41.3 dBm/MHz [9]

	ความถี่ (GHz)		
	3.1 – 4.8	6-8.5	8.5-9
การใช้งานภายในอาคาร	LDC or DAA	ไม่จำเป็น	DAA
การใช้งานบนถนนหรือรถไฟ	LDC หรือ DAA+TPC	LDC หรือ TPC	DAA+LDC หรือ DAA+TPC

ปัจจุบันโครงสร้างของข้อกำหนดระบบแถบกว้างยิ่งในทวีปยุโรปอยู่ในช่วงรอข้อมูลทางเทคนิคที่เกี่ยวกับผลกระทบของระบบแถบกว้างยิ่งบนระบบเดิมที่มีใช้กันอยู่โดยทางยุโรปนั้นบางส่วนของข้อกำหนดจะรัดกุมกว่าของทางสหรัฐอเมริกา เพราะทางด้านยุโรปนั้นในส่วนของเทคโนโลยีใหม่ต้องแสดงให้เห็นว่าส่งผลกระทบน้อยหรือไม่ส่งผลเสียหายต่อระบบเดิมที่มีอยู่ โดยข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานสำหรับการใช้งานทั้งภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย ITU หรือ ETSI แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร [11]

	ช่วงความถี่ [GHz]		
	$f < 3.1$	$3.1 < f < 10.6$	$f > 10.6$
ภายในอาคาร	$-51.3 + 87\log(f / 3.1)$	-41.3	$-51.3 + 87\log(10.6 / f)$
ภายนอกอาคาร	$-61.3 + 87\log(f / 3.1)$	-41.3	$-61.3 + 87\log(10.6 / f)$

2.4.3 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในประเทศญี่ปุ่น

กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งถูกบังคับใช้ในเดือนสิงหาคม 2006 และในรูปที่ 2.5 ได้ทำการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา กับของประเทศญี่ปุ่น ความถี่ที่สามารถใช้งานได้อยู่ในช่วง 3.4 GHz ถึง 4.8 GHz ในช่วงความถี่ต่ำ และ 7.25 GHz ถึง 10.25 GHz ในช่วงความถี่สูง ในช่วงความถี่ต่ำวิธีการลดการรบกวนได้ถูกนำมาใช้ ช่วงความถี่ที่ 4.2 GHz ถึง 4.8 GHz สามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องใช้วิธีการลดการรบกวนจนถึงเดือนธันวาคม 2010 แต่ประเทศญี่ปุ่นได้พิจารณาแยกเวลาออกไปจนถึงเดือนธันวาคม 2013 โดยมีบางข้อกำหนดเฉพาะในประเทศญี่ปุ่นดังนี้

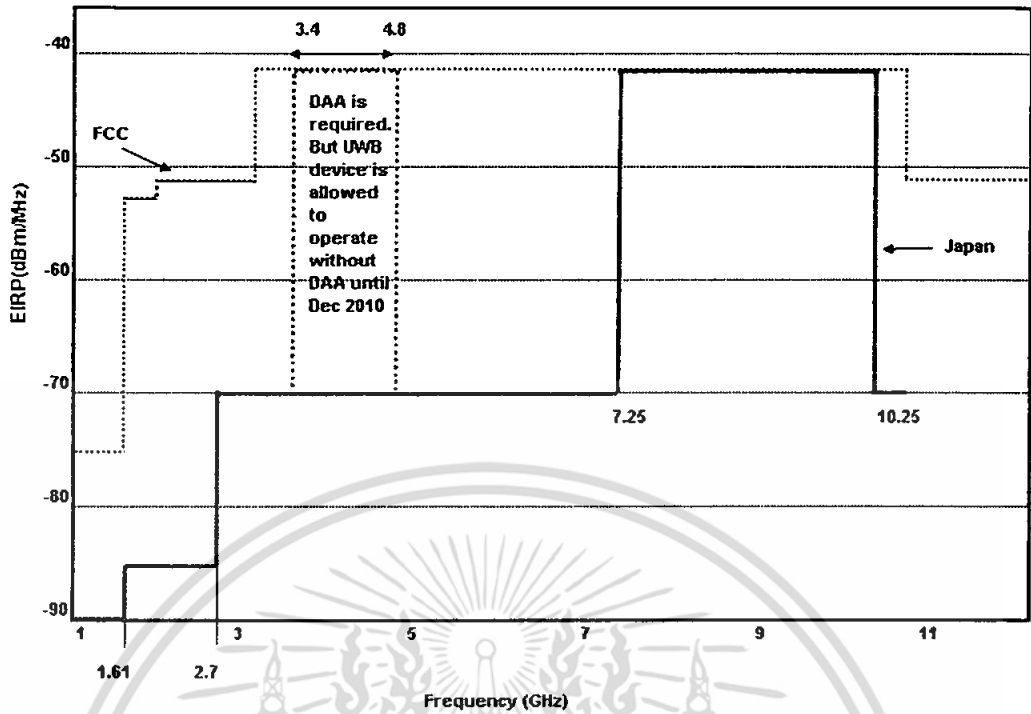
- ในการดำเนินการภายในอาคารอุปกรณ์ระบบแถบกว้างยิ่งสามารถเชื่อมต่อกับไฟ AC และอุปกรณ์ระบบแถบกว้างยิ่งที่ไม่ได้ต่อกับไฟ AC จะต้องได้รับอนุญาตให้ปล่อยคลื่นวิทยุหลังจากที่ได้รับสัญญาณจากอุปกรณ์วิทยุอื่น ๆ ที่เชื่อมต่อกับไฟ AC
- อัตราการส่งข้อมูลมากกว่า 50 Mbps ยกเว้นกรณีของสัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์วิทยุอื่น ๆ
- ความถี่แบนด์วิดท์อยู่ระหว่างความถี่บนและความถี่ล่าง โดยจะวัดค่าต่ำกว่า 10 dB จากค่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของสัญญาณหรือมีการใช้แถบความถี่มากกว่าหรือเท่ากับ 450 MHz

2.4.4 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในประเทศเกาหลี

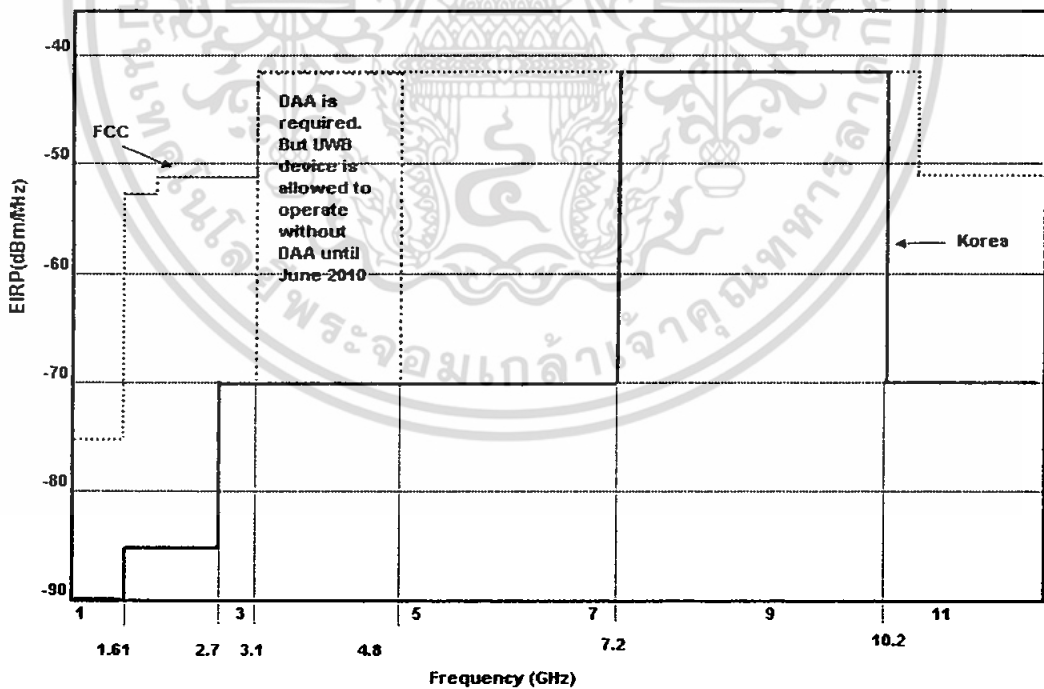
กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งมีผลบังคับใช้ในช่วงฤดูร้อนปี 2006 โดยมีค่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานคล้ายคลึงกับประเทศญี่ปุ่น แต่มีช่วงความถี่ต่างกันเพียงเล็กน้อย บางพารามิเตอร์เช่น LDC มีค่าใกล้เคียงกับสหภาพยุโรป ดังแสดงในรูป 2.7 ช่วงความถี่ที่สามารถใช้งานในช่วงความถี่ต่ำได้คือ 3.1 GHz ถึง 4.8 GHz และช่วงความถี่สูงคือ 7.2 GHz ถึง 10.2 GHz วิธีการลดสัญญาณรบกวนถูกใช้ในช่วงความถี่ต่ำ โดยมีพารามิเตอร์ที่ใช้และมีวิธีการดังนี้

- อุปกรณ์ของระบบแถบกว้างยิ่งถูกห้ามใช้ในส่วนงานบนเครื่องบิน เรือ ดาวเทียม วิทยุควบคุมการบิน
- ความถี่แบนด์วิดท์อยู่ระหว่างความถี่บนและความถี่ล่าง โดยจะวัดค่าต่ำกว่า 10 dB จากค่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของสัญญาณ หรือมีการใช้แถบความถี่มากกว่าหรือเท่ากับ 450 MHz
- หนึ่งในวิธีการลดสัญญาณรบกวนถูกใช้ในช่วงความถี่ 3.1 GHz ถึง 4.8 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ข้อกำหนดสเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งของประเทศญี่ปุ่น [9]

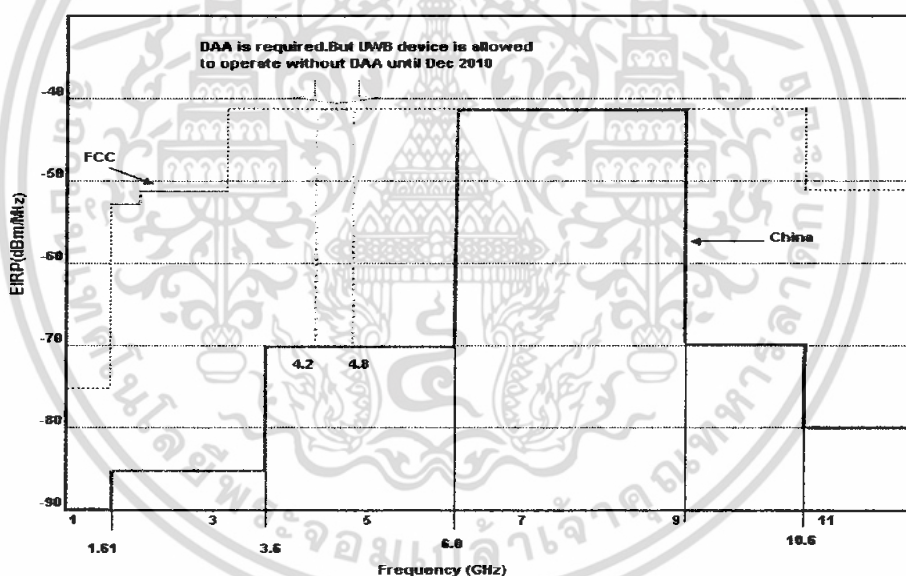


รูปที่ 2.6 ข้อกำหนดสเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งของประเทศเกาหลี [9]

2.4.5 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในประเทศจีน

กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งถูกบังคับใช้เมื่อเดือนธันวาคมปี 2008 โดยกระทรวงอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสารสนเทศของประเทศจีน ความถี่แบนด์วิดท์อยู่ระหว่างความถี่บนและความถี่ล่าง โดยจะวัดค่าต่ำกว่า 10 dB จากค่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของสัญญาณ หรือมีการใช้แถบความถี่มากกว่า 500 MHz ช่วงความถี่ที่สามารถใช้งานค่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงาน -41 dBm/MHz คือที่ 6 GHz ถึง 9 GHz และ 4.2 GHz ถึง 4.8 GHz โดยใช้วิธีการลดการรบกวน จนถึงเดือนธันวาคม 2010 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานในประเทศจีนแสดงในรูปที่ 2.7 โดยมีกฎข้อบังคับอื่นๆอีกดังนี้

- อุปกรณ์ของระบบแถบกว้างยิ่งเป็นสิ่งต้องห้ามในการใช้งานบนเครื่องบิน
- อุปกรณ์ของระบบแถบกว้างยิ่งเป็นสิ่งต้องห้ามในการใช้งานในช่วงขอบเขต 1 กิโลเมตรของสถานีวิทยดาราศาสตร์
- อุปกรณ์ของระบบแถบกว้างยิ่งต้องได้รับการรับรองจากกระทรวงอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสารสนเทศก่อนติดตั้งเพื่อให้บริการ
- อุปกรณ์ภาคส่งของระบบแถบกว้างยิ่งจะต้องไม่สร้างสัญญาณรบกวนกับสถานีวิทย์



รูปที่ 2.7 ข้อจำกัดสเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งของประเทศจีน [9]

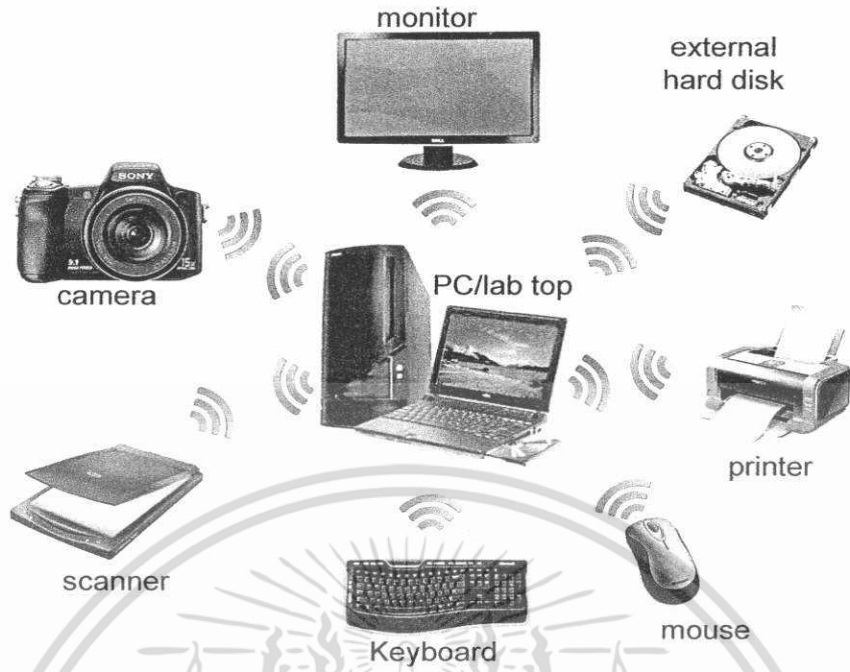
2.5 การประยุกต์และการนำระบบแถบกว้างยิ่งไปใช้งาน

ระบบแถบกว้างยิ่งนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายรูปแบบดังนี้

2.5.1 การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายภายในอาคารสำนักงาน

การนำเทคโนโลยีแบบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานในการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภายในอาคารสำนักงาน ซึ่งระบบการสื่อสารแบบไร้สายระยะสั้นมีความต้องการอัตราการส่งข้อมูลสูง เพื่อรองรับระบบมัลติมีเดียที่ใช้ในอาคารสำนักงานดังรูปที่ 2.8

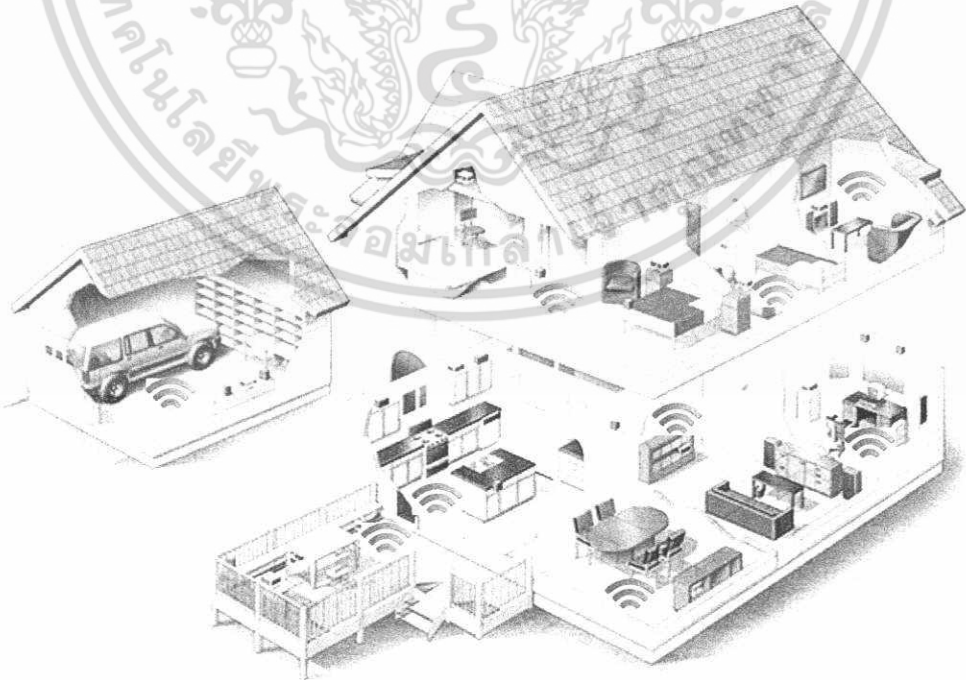
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 การนำเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานโครงข่ายภายในอาคารสำนักงาน [15]

2.5.2 การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายภายในที่พักอาศัย

เป็นการนำเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานในการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภายในที่พักอาศัย เช่น คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล เครื่องเล่นดีวีดี ทีวี กล้องดิจิทัล เป็นต้น ดังรูปที่ 2.9

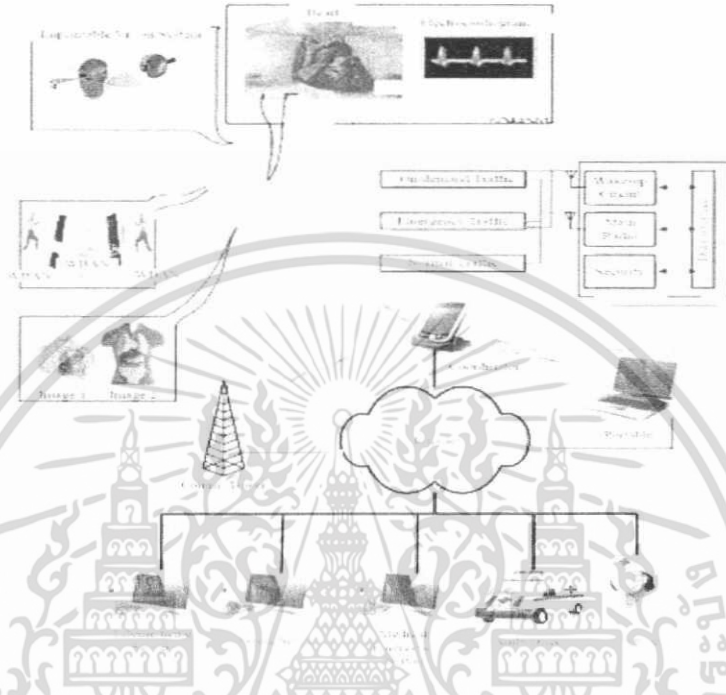


รูปที่ 2.9 การนำเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานโครงข่ายภายในบ้านพักอาศัย [16]

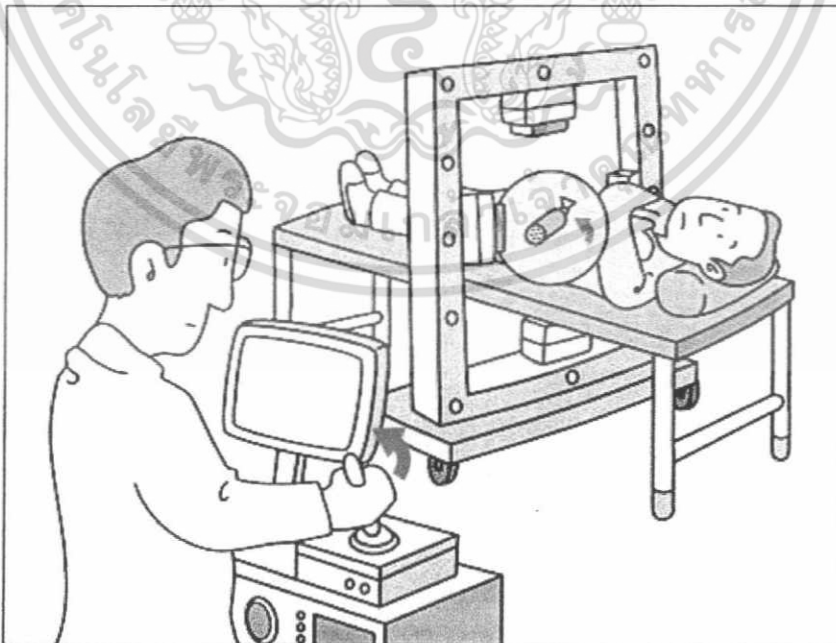
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นต้นการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์

เป็นการนำเทคโนโลยีแบบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานในการเชื่อมต่อกับอวัยวะต่างๆของร่างกายมนุษย์ เพื่อให้อวัยวะของร่างกายสามารถสื่อสารกับโลกภายนอกได้ โดยมีประโยชน์โดยตรงต่อวิชาการทางการแพทย์สำหรับดูแลสุขภาพ ตรวจวัดสมรรถภาพ เป็นต้น ดังรูปที่ 2.10



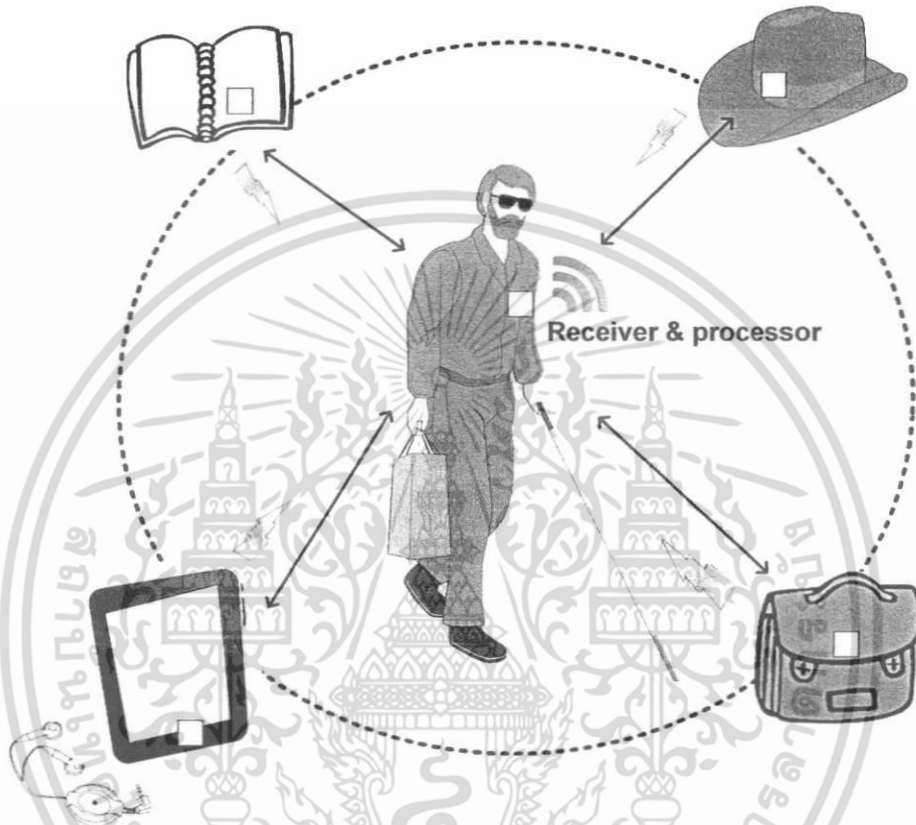
รูปที่ 2.10 การนำเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ [18]



รูปที่ 2.11 การนำเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานทางการแพทย์ [17]

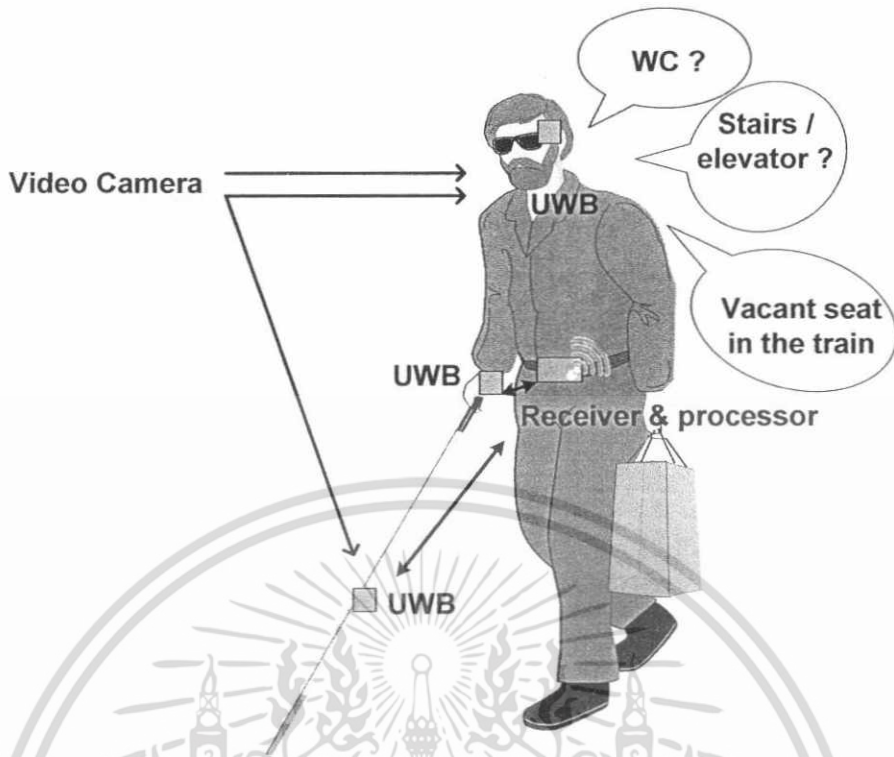
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีการประยุกต์ใช้มากมายและมีการใช้รูปแบบที่ช่วยให้มีความสะดวกสบายมากขึ้นโดยการใช้ WBAN รูปที่ 2.13 แสดงถึงการประยุกต์ใช้งานในการช่วยเหลือผู้ที่มีความพิการทางสายตา เครื่องมือตรวจวัดได้ถูกติดกับสิ่งของต่างๆของผู้ที่มีความพิการทางสายตา จากนั้นต้องมีการกำหนดค่าเริ่มต้นของระยะห่างของเครื่องมือตรวจวัดกับเครื่องรับสัญญาณ หากผู้พิการทางสายตาสัมผัสสิ่งของไว้หรืออยู่ห่างจากค่าที่ได้กำหนดไว้ เครื่องรับสัญญาณจะส่งสัญญาณเตือน [9]



รูปที่ 2.12 การประยุกต์ใช้งานในการช่วยเหลือผู้พิการทางสายตาในการตรวจหาสัมภาระ [9]

นอกจากนี้ยังมีกล้องที่ติดกับผู้พิการทางสายตา เช่น แวนตา หรือไม้เท้า ภาพวิดีโอจะถูกถ่ายโดยกล้องและถูกส่งไปยังเครื่องรับที่ติดอยู่ที่ผู้พิการทางสายตา โดยภาพที่ถ่ายได้จะถูกแปลงให้เป็นเสียง เพื่อนำทางให้กับผู้พิการทางสายตา ดังรูปที่ 2.14 หลักการที่คล้ายคลึงกันสามารถนำมาใช้ช่วยเหลือผู้พิการด้านการพูด โดยใช้เซนเซอร์ที่ติดที่มือ เพื่อหาการเคลื่อนไหวของมือ โดยข้อมูลที่ได้รับจากเซนเซอร์จะถูกเปลี่ยนให้เป็นเสียงพูด [9]



รูปที่ 2.13 การประยุกต์ใช้งานในการช่วยเหลือผู้ที่มีความพิการทางสายตาในการค้นหา [9]

2.6 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ การประยุกต์การใช้งาน ประวัติความเป็นมา ของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งหรือ Ultra wideband ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันรวมถึงการกำหนด กฎเกณฑ์ในการใช้งาน ข้อบังคับต่าง ๆ ของประเทศสหรัฐอเมริกา ยุโรป ญี่ปุ่น เกาหลี และจีน ไม่ว่า จะเป็นช่วงความถี่ที่ใช้งานซึ่งจะสัมพันธ์กับแบนด์วิธของระบบ ระดับกำลังงานที่แพร่กระจายทั้ง ภายในและภายนอกอาคาร ที่กำหนดโดยองค์กรที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องอาทิเช่น คณะกรรมาธิการการ สื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา และสถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป หรือ สหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ การประยุกต์และการนำไปใช้งานในด้านต่าง ๆ ของการสื่อสาร แบบแถบกว้างยิ่งซึ่งทั้งหมดนี้เป็นองค์ความรู้เบื้องต้นของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง โดยเฉพาะการประยุกต์ใช้งานโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ที่สามารถนำมาใช้งานกับการแพทย์ที่นับวัน จะมีการพัฒนา วิจัย ค้นคว้าเพื่อใช้งานจริงมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์สัญญาณการส่งผ่านแถบกว้างยิ่ง

3.1 กล่าวนำ

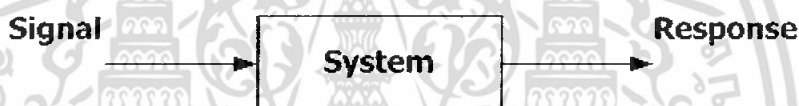
ในระบบการสื่อสารแบบไร้สายนั้นมีหลายปัจจัยด้วยกันที่มีความจำเป็นจะต้องพิจารณาถึงคุณภาพการส่งผ่านของช่องสัญญาณ การสูญเสียในอวกาศว่าง และความผิดเพี้ยนจากสายอากาศ เป็นต้น ซึ่งเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณ โดยในการแพร่กระจายคลื่นของสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารและภายนอกอาคารเป็นอีกสิ่งหนึ่งที่มีความสำคัญ เนื่องจากผลกระทบที่เกี่ยวกับทิศทาง ขอบเขตของเส้นทางและปัจจัยอื่นๆ ล้วนแต่ส่งผลในการประเมินค่าประสิทธิภาพของระบบเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง ถ้าช่องสัญญาณมีคุณลักษณะที่ดีแล้วผลของการรบกวนและการแทรกสอดของแหล่งกำเนิดสัญญาณอื่นๆ จะสามารถที่จะทำให้ลดลงได้โดยการออกแบบเครื่องส่งและเครื่องรับที่เหมาะสม โดยลักษณะสำคัญอีกอย่างหนึ่งของการจำลองช่องสัญญาณวิทยุ คือการตรวจสอบถึงฟังก์ชันการกระจายตัวของพารามิเตอร์ของสัญญาณ โดยทั่วไปการกระจายตัวเหล่านี้มักจะได้มาจากผลการทดสอบหรือผลการจำลองบนพื้นฐานของความถูกต้อง ซึ่งการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบทำได้โดยการนำผลที่ได้จากการวัดมาทำการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆบนพื้นฐานและหลักการทฤษฎีการส่งผ่านของฟรีส และทางด้านรับได้ใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์สองแบบมาเปรียบเทียบกันระหว่างเครื่องรับแบบสัญญาณที่รับได้ และเครื่องรับแบบโอไซทรอปิก ผลการทดลองวิจัยและผลการวิเคราะห์ของอัตราการขยายการส่งผ่านสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง การผิดเพี้ยนของสัญญาณ ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ

3.2 ฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณระบบแถบกว้างยิ่ง

ในการส่งผ่านสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่งนั้นจะมีลักษณะแตกต่างจากการส่งสัญญาณคลื่นวิทยุโดยทั่วไปเนื่องจากการส่งสัญญาณในโดเมนทางเวลาและสัญญาณที่ใช้ในการส่งผ่านนั้นไม่มีการมอดูเลชันกับสัญญาณพาห်ก่อนทำการส่งสัญญาณออกผ่านสายอากาศทางด้านส่งเนื่องจากตามข้อกำหนดโดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา ได้กำหนดให้ใช้ความถี่ในย่าน 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ซึ่งมีแถบความถี่กว้างมาก ในกระบวนการการส่งสัญญาณนั้น เริ่มจากการสร้างสัญญาณที่ใช้ในการส่งผ่านเป็นสัญญาณอินพุทเวฟฟอร์ม ส่งผ่านไปยังสายอากาศด้านส่ง ผ่านช่องสัญญาณไปยังสายอากาศทางด้านรับ เมื่อสัญญาณเดินทางมาถึงสายอากาศทางด้านรับแล้วจากนั้นสัญญาณที่ได้ผ่านกระบวนการส่งผ่านโดยพิจารณาทางด้านรับเป็นแบบสหสัมพันธ์ (Correlation receiver) เพื่อให้ค่าอัตราส่วนกำลังสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal-to-Noise Ratio: SNR) มีค่าสูงมากที่สุด จากนั้นจึงมาถึงขั้นตอนของการตรวจจับสัญญาณและนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์เปรียบเทียบความสอดคล้องระหว่างในทางทฤษฎีและทางปฏิบัติต่อไป

3.2.1 ผลตอบสนองความถี่ของสัญญาณ

เมื่อพิจารณาการวัดของสัญญาณโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ สิ่งที่ต้องทำความเข้าใจเป็นอันดับแรกคือ ระบบและสัญญาณ โดยระบบคือกลุ่มของวัตถุที่รวมกันซึ่งสามารถทำงานร่วมกันเพื่อให้สำเร็จตามจุดมุ่งหมายที่ต้องการและสัญญาณคือปริมาณทางกายภาพ บางอย่างที่ถูกป้อนเข้าสู่ระบบเรียกว่า สัญญาณเข้าหรือสัญญาณอินพุต (Input signal) ของระบบและจะมีปริมาณทางกายภาพบางอย่างออกมาจากระบบซึ่งเรียกว่า สัญญาณออกหรือสัญญาณเอาต์พุต (Output signal) หรือผลตอบสนอง (Response) ของระบบ โดยสามารถแสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบดังรูปที่ 3.1 ที่ซึ่งผลตอบสนองดังกล่าวนั้นจะเป็นสิ่งที่ใช้แสดงถึงคุณสมบัติของระบบและจากการวัดผลที่ได้ก็คือค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของสัญญาณซึ่งแปรผันตรงกับฟังก์ชันถ่ายโอนทางความถี่ (Frequency transfer function : $H(f)$) ของช่องสัญญาณ โดยฟังก์ชันถ่ายโอนดังกล่าวจะแสดงให้เห็นถึงผลตอบสนองความถี่ของช่องสัญญาณที่ทำการพิจารณาอยู่ซึ่งประกอบด้วยขนาดของสัญญาณถ่ายโอน (Magnitude) และผลตอบสนองทางเฟส (Phase) ของสัญญาณ โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านสัญญาณกับฟังก์ชันถ่ายโอนของช่องสัญญาณกำหนดตามสมการที่ 3.1 [10] และแสดงดังรูปที่ 3.2

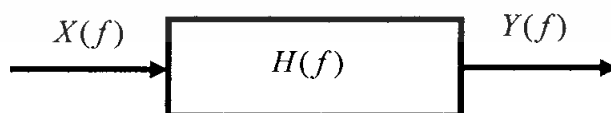


รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบเชิงเส้น [10]

$$H(f) = \frac{Y(f)}{X(f)} \quad (3.1)$$

โดยที่

$Y(f)$ คือ เอาต์พุตของระบบในโดเมนความถี่
 $X(f)$ คือ อินพุตของระบบในโดเมนความถี่



รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของระบบในโดเมนความถี่ [10]

3.2.2 ผลตอบสนองอิมพัลส์ของสัญญาณ

การแสดงคุณสมบัติของช่องสัญญาณสามารถทำได้หลายวิธี โดยหนึ่งในวิธีที่นิยมใช้คือ การแสดงด้วยค่าผลตอบสนองอิมพัลส์ (Impulse response) ของระบบ โดยเริ่มต้นนั้นจะขอกกล่าวถึงค่านิยามของฟังก์ชันอิมพัลส์ (Impulse function) ดังนี้

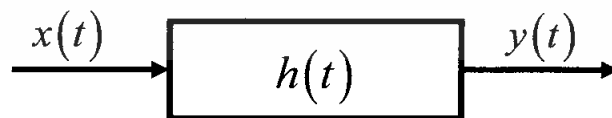
ฟังก์ชันอิมพัลส์จะไม่เหมือนกับฟังก์ชันทั่วไปโดยฟังก์ชันอิมพัลส์หนึ่งหน่วยมักนิยามแทนด้วยสัญลักษณ์ $\delta(t)$ และมีคุณสมบัติดังนี้คือ

$$\int_a^b f(t) \delta(t-t_0) dt = \begin{cases} f(t_0), & a < t_0 < b \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.2)$$

โดยในที่นี้ $f(t)$ จะต้องเป็นฟังก์ชันที่มีค่าต่อเนื่อง (Continuous) ที่ค่าเวลา $t = t_0$ จาก (3.2) เมื่อกำหนดให้ $f(t) = 1$ จะได้

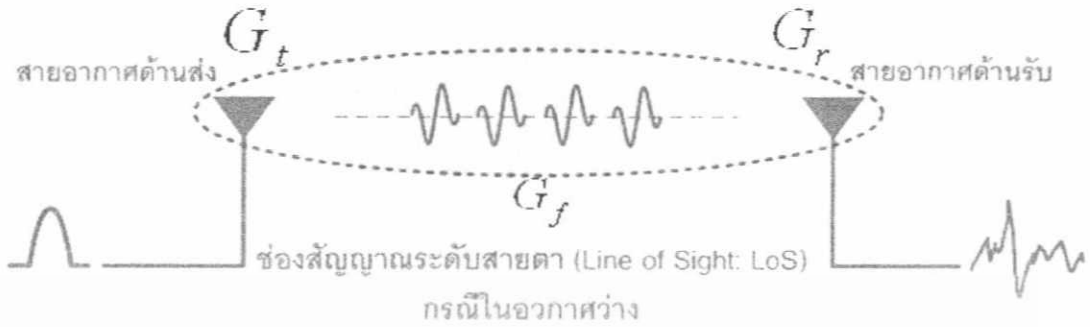
$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t-t_0) dt = 1 \quad (3.3)$$

จากผลของการทำปริพันธ์ฟังก์ชันใดๆ นั้น มีผลเท่ากับพื้นที่ใต้เส้นโค้งที่แสดงค่าฟังก์ชันนั้นมา ช่วยอธิบายในสมการ 3.3 กล่าวได้ว่าพื้นที่ใต้เส้นโค้งของ $\delta(t-t_0)$ มีค่า 1 หน่วย โดยค่าที่ได้จากการทำปริพันธ์นี้นิยมเรียกว่า น้ำหนัก (Weight) ของฟังก์ชันอิมพัลส์นั้น ดังนั้นจะพบว่าน้ำหนักของฟังก์ชัน $A\delta(t)$ มีค่าเท่ากับ A หน่วย ฟังก์ชันอิมพัลส์ที่มีน้ำหนัก 1 หน่วยนั้นเรียกว่า ฟังก์ชันอิมพัลส์หนึ่งหน่วย (Unit impulse function) แม้ว่าฟังก์ชันอิมพัลส์จะไม่สามารถสร้างได้จริงในทางปฏิบัติแต่ในทางทฤษฎีจะมีบทบาทในการวิเคราะห์สัญญาณและระบบโดยเฉพาะการบอกคุณสมบัติของระบบอีกทั้งสัญญาณอินพุตที่เป็นฟังก์ชันอิมพัลส์หนึ่งหน่วยนั้นยังถูกนิยามเรียกว่า ผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบใช้สัญลักษณ์ $h(t)$ แทนผลตอบสนองดังกล่าวซึ่งผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบสามารถใช้เป็นตัวแทนของระบบเพราะสามารถบอกคุณสมบัติของระบบนั้นได้และโดยเฉพาะเมื่อระบบภายใต้การพิจารณาเป็นระบบเชิงเส้นไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ค่าเอาต์พุต $y(t)$ ของระบบที่เกิดจากสัญญาณอินพุต $x(t)$ ใด ๆ นั้นสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้รูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของระบบในโดเมนเวลา [10]

3.3 หลักการส่งผ่านของฟรีส



รูปที่ 3.4 การส่งผ่านสัญญาณของฟรีสในอวกาศว่าง [20]

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาถึงการแพร่กระจายของสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่ง ในระบบแถบแคบปกตินั้นจะถูกกำหนดโดยใช้หลักการส่งผ่านของฟรีส แต่ไม่สามารถนำมาใช้ได้โดยตรงกับการส่งสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่ง โดยในสูตรนั้นมีข้อจำกัดในเรื่องของความถี่ แต่อย่างไรก็ตามรูปร่างของสัญญาณอาจผิดเพี้ยนไปเนื่องจากคุณสมบัติในการตอบสนองความถี่ของสายอากาศจึงได้มีการปรับปรุงสมการของฟรีส เพื่อวิเคราะห์ความผิดเพี้ยนของสัญญาณ โดยสมการของฟรีสสามารถอธิบายได้ดังนี้คือ

$$G_{Friss}(f) = \frac{P_r(f)}{P_t(f)} = G_r(f)G_f(f)G_t(f) \tag{3.4}$$

- | | | |
|--------|----------------|--|
| โดยที่ | $G_{Friss}(f)$ | คือ อัตราการขยายของฟรีส |
| | $P_r(f)$ | คือ กำลังของสัญญาณด้านรับ |
| | $P_t(f)$ | คือ กำลังของสัญญาณด้านส่ง |
| | $G_r(f)$ | คือ อัตราการขยายของช่องสัญญาณในอวกาศว่าง |
| | $G_r(f)$ | คือ อัตราการขยายของสายอากาศด้านรับ |
| | $G_t(f)$ | คือ อัตราการขยายของสายอากาศด้านส่ง |

และสามารถคำนวณหาฟังก์ชันการถ่ายโอนของอวกาศว่างได้จากสมการที่ 3.5

$$G_f(f) = \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 = \left(\frac{c}{4\pi d f}\right)^2 \tag{3.5}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อ λ คือ ค่าความยาวคลื่น ซึ่ง $\lambda = \frac{c}{f}$
- c คือ ความเร็วแสง (3×10^8 m/s)
- f คือ ความถี่ของสัญญาณ (Hz)
- d คือ ระยะทางระหว่างภาคส่งและภาครับ (m)

โดยที่ $G_f(f)$ คือ อัตราขยายของช่องสัญญาณในอวกาศว่าง (Free Space) หรือเขียนอยู่ในรูปฟังก์ชันการถ่ายโอนดังสมการ 3.6

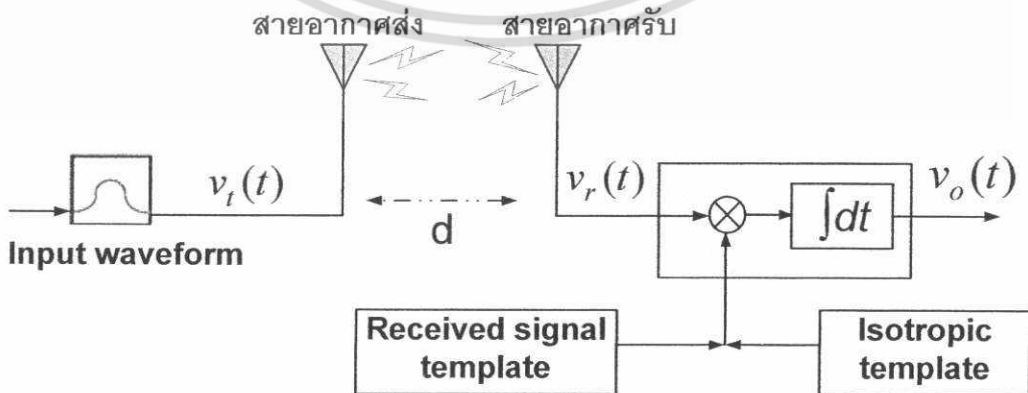
$$H_{\text{Friis}}(f, d) = \frac{V_r(f)}{V_t(f, d)} = H_f(f, d)H_r(f)H_t(f) \tag{3.6}$$

โดยที่

- H_f คือ ฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ในอวกาศว่าง
- H_r คือ ฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของสายอากาศทางด้านรับ
- H_t คือ ฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของสายอากาศทางด้านส่ง
- V_r คือ ค่าแอมพลิจูดของสัญญาณทางด้านรับ
- V_t คือ ค่าแอมพลิจูดของสัญญาณทางด้านส่ง
- f คือ ความถี่
- d คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับ

สมการฟังก์ชันการถ่ายโอนในอวกาศว่าง สามารถเขียนได้ดังนี้

$$H_f(f, d) = \frac{c}{4\pi d f} e^{-j2\pi d f / c} \tag{3.7}$$



รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมของฟังก์ชันการส่งผ่านสำหรับสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่สูตรการส่งผ่านของฟรีสดังสมการที่ 3.6 เมื่อนำมาใช้ร่วมกับระบบสื่อสารที่เป็นแบบแถบกว้างยิ่ง ดังรูปที่ 3.5 สมการของฟรีสไม่สามารถใช้ในการเปรียบเทียบสัญญาณระหว่างด้านส่งกับด้านรับได้ ทำให้ไม่สามารถพิจารณาการผิดเพี้ยนของสัญญาณได้ เพราะว่าจากสมการที่ 3.6 นั้นไม่มีสัญญาณด้านอินพุตมาเกี่ยวข้องจึงต้องมีการประยุกต์ให้เหมาะสมกับความถี่ใหม่ โดยที่สัญญาณอินพุต $v_i(t)$ ที่ด้านส่งคืออินพุตของการคอนโวลูชันของสัญญาณอิมพัลส์อินพุตและตัวกรองสัญญาณรูปร่างพัลส์ $h_i(t)$

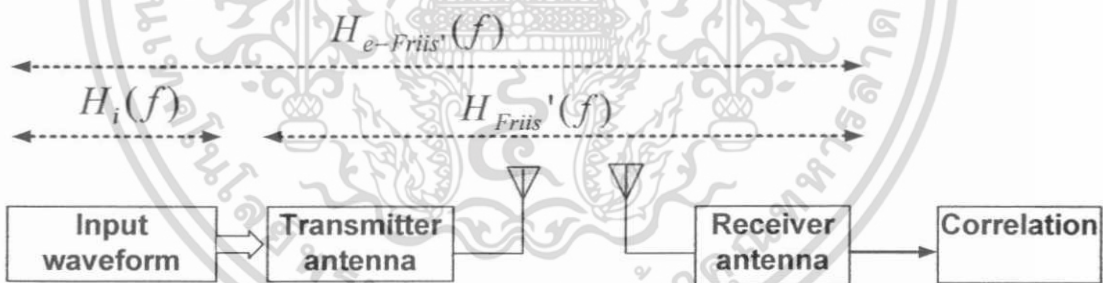
$$v_i(t) = E_i \delta(t) * h_i(t), \tag{3.8}$$

เมื่อ

$$\int_{-\infty}^{\infty} h_i^2(t) dt = \int_{-\infty}^{\infty} |H_i(f)|^2 df = 1 \tag{3.9}$$

โดยสมการที่ปรับแต่งแล้วมีรูปแบบเป็นตามสมการที่ 3.10 [13] ซึ่งเรียกว่า การประยุกต์หลักการส่งผ่านของฟรีส (Extension Friis' transmission formula) ดังรูปที่ 3.6 ซึ่งจะเขียนอยู่ในรูปของฟังก์ชันการถ่ายโอน

$$H_{e-Friis}(f, d) = H_t(f, d) H_i(f) H_r(f) H_l(f) \tag{3.10}$$



รูปที่ 3.6 การประยุกต์หลักการส่งผ่านของฟรีส

3.4 การสูญเสียเชิงวิถี

การสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) เป็นการลดทอนของสัญญาณที่แปรตามระยะทางระหว่างภาคส่งและภาครับโดยที่ค่าเฉลี่ยกำลังของสัญญาณจะลดลงตามค่า d^{-n} โดย d คือ ระยะทางระหว่างภาคส่งและภาครับ ส่วน n คือเลขชี้กำลังการสูญเสีย (Path loss exponent) มีขนาดแตกต่างกันไปตามสภาพของบริเวณที่สัญญาณส่งผ่าน [2] โดยค่าการสูญเสียเชิงวิถีนั้นอาจเกิดขึ้นเนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ

ในระบบสื่อสารไร้สาย สัญญาณที่กำเนิดขึ้นจากภาคส่งที่จะต้องนำไปป้อนเข้าสายอากาศเพื่อแปลงสัญญาณไฟฟ้าไปเป็นสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic) สำหรับแพร่กระจายผ่านช่องสัญญาณซึ่งโดยทั่วไปก็คืออากาศ เมื่อสัญญาณเดินทางมาถึงภาครับก็จะมีสายอากาศรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้งานระบบนี้จะเห็นข้อความนี้ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณซึ่งทำหน้าที่กลับกันจากภาคส่ง คือทำการแปลงสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากลับไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าอีกครั้ง ในการส่งคลื่นสัญญาณผ่านอวกาศว่างนั้น มักจะนิยามให้ค่าการสูญเสียเชิงวิถีในอวกาศว่าง (Free space path loss) มีค่าเป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังงานของสัญญาณที่ถูกส่งต่อกำลังงานของสัญญาณที่รับได้ โดยทั่วไปมักจะแสดงให้อยู่ในหน่วยของเดซิเบล (Decibel: dB) ดังแสดงในสมการที่ 3.11

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

โดยที่ v_t คือ ระดับสัญญาณที่ใช้ส่ง
 v_r คือ ระดับสัญญาณที่รับได้

โดยในการวิเคราะห์ค่าสูญเสียเชิงวิถีในระบบแถบกว้างยิ่ง PL_{UWB} นั้นจะพิจารณาที่กำลังงานสูงสุดของสัญญาณที่ใช้ส่งและกำลังสูงสุดของสัญญาณที่รับได้ซึ่งเป็นฟังก์ชันของระยะทาง (d) โดยมีนิยามเป็นไปตามสมการที่ 3.12 และ 3.13 ตามลำดับ

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

ในสมการที่ 3.13 ได้กำหนดให้ขนาดของสัญญาณที่ใช้ส่งมีค่าเท่ากับ 1 ดังนั้นสามารถจัดสมการใหม่ได้ดังนี้

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

3.5 แบบจำลองการส่งผ่านสำหรับระบบแถบกว้างยิ่ง

สำหรับระบบแถบกว้างยิ่งการเชื่อมโยงในอวกาศว่างเป็นสูตรที่อยู่ในพจน์ของฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ที่ได้พิจารณาถึงรูปคลื่นที่ใช้ส่ง ความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นอันเนื่องมาจากสายอากาศช่องสัญญาณ

ฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณในอวกาศว่าง $H_c(f, d)$ ได้รวมคุณสมบัติของสายอากาศที่ได้จากการประยุกต์สูตรการส่งผ่านของฟรีส ซึ่งนิยามได้โดย

$$H_c(f) = H_r(f, d) H_t(f, \Omega_t) \cdot H_r(f, \Omega_r) \quad (3.14)$$

เมื่อ $H_a(f, \Omega_a)$ ($a = r$ or t) คือ ฟังก์ชันของเวกเตอร์ที่ใช้ส่งผ่านแบบเชิงซ้อนของสายอากาศและสัมพันธ์กับสายอากาศแบบไอโซทรอปิก (Isotropic) ที่มีทิศทาง $\Omega_a = (\theta_a, \phi_a)$ โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 H_a(f, \Omega_a) &= H_a(f, \theta_a, \varphi_a) \\
 &= \hat{\theta}_a H_{a\theta}(f, \theta_a, \varphi_a) + \hat{\varphi}_a H_{a\varphi}(f, \theta_a, \varphi_a)
 \end{aligned}
 \quad (3.15)$$

3.6 เครื่องรับสหสัมพันธ์

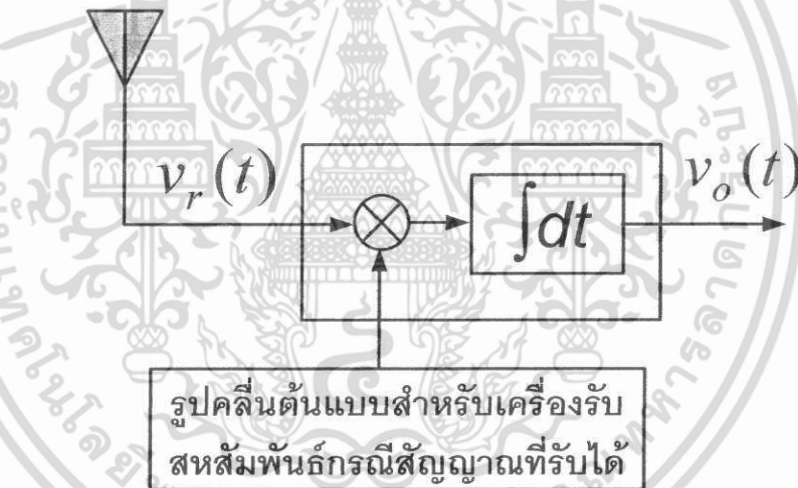
3.6.1 เครื่องรับสหสัมพันธ์ด้วยสัญญาณที่รับได้

สำหรับสัญญาณที่นำมาใช้พิจารณานั้นจะใช้สัญญาณที่รับได้เป็นสัญญาณแม่แบบ (Received signal template) ดังรูปที่ 3.7 รูปคลื่นที่รับได้ทางด้านเครื่องรับ $v_r(t)$ หาได้จาก

$$v_r(t) = \int_{-\infty}^{\infty} H_c(f) V_i(f) e^{j2\pi ft} df \quad (3.16)$$

เมื่อ $V_i(f)$ คือ สเปกตรัมของรูปคลื่นที่ใช้ส่ง

สายอากาศรับ



รูปที่ 3.7 แผนภาพบล็อกของเครื่องรับสหสัมพันธ์ในกรณีสหสัมพันธ์ด้วยสัญญาณที่รับได้

จากเอาต์พุตของเครื่องรับสหสัมพันธ์ $v_o(t)$ แสดงได้ดังนี้

$$v_o(t) = \int_{-\infty}^{\infty} v_r(t) h_w(t - \tau) d\tau \quad (3.17)$$

เมื่อ $v_r(t)$ คือ รูปคลื่นสัญญาณที่รับได้ $h_w(t)$ คือ รูปคลื่นต้นแบบของเครื่องรับสหสัมพันธ์จากสัญญาณที่รับได้ และ τ คือ เวลาที่สอดคล้องกับรูปคลื่นต้นแบบ ซึ่งเวลาที่เหมาะสมที่สุดสามารถหาได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้น $h_w(t)$ ได้ถูกนอร์มัลไลซ์ ให้มีค่าเป็น

$$\int_{-\infty}^{\infty} |h_w(t)|^2 dt = 2B \quad (3.19)$$

โดยที่ B คือ แบนด์วิธของสัญญาณ ดังนั้นเอาต์พุตกำลังสัญญาณรบกวนจะมีค่าคงที่เท่ากับ N_0B ซึ่ง $\frac{N_0}{2}$ คือความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของสัญญาณรบกวนเกาส์แบบสีขาวบวก (Additive White Gaussian Noise: AWGN)

ภายใต้ข้อจำกัดของสมการที่ (3.19) $h_{wm}(t)$ ช่วยเพิ่มให้ $v_r(\tau_0)$ มีค่าสูงสุด เมื่อ $h_{wm}(t)$ คือ ส่วนกลับของเวลาและรูปแบบขนาดของ $v_r(t)$ กล่าวคือ

$$h_{wm}(t) = \frac{\sqrt{2B}v_r(\tau_0 - t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |v_r(t)|^2 dt}} \quad (3.20)$$

เมื่อ τ_0 เป็นค่าที่ทำให้ $h_{wm}(t) = 0$ สำหรับ $t < 0$ โดยจะนิยาม $h_{wm}(t)$ เป็นรูปคลื่นที่รับได้ของสัญญาณต้นแบบสูงสุด

3.6.2 เครื่องรับสัมพันธ์ด้วยสัญญาณไอโซทรอปิก

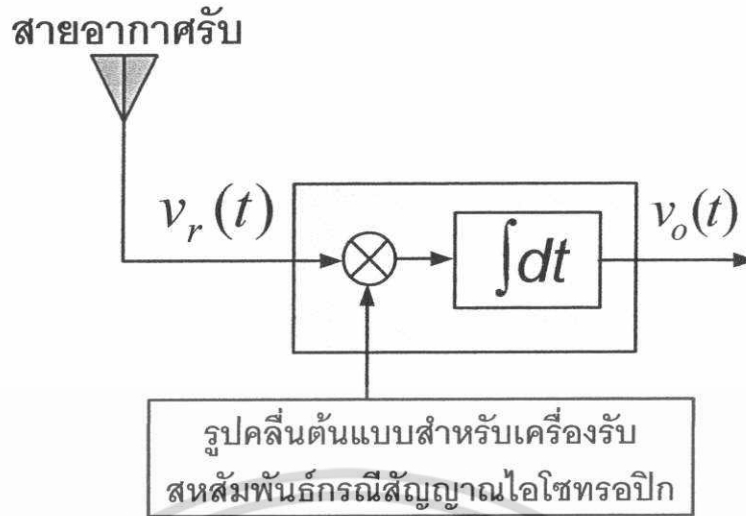
จะเห็นได้ชัดจากสมการที่ (3.20) ว่ารูปคลื่นต้นแบบสัญญาณที่ได้รับไม่ใช่ส่วนกลับเวลาของรูปคลื่นที่ใช้ส่ง แต่ได้รวมคุณลักษณะความถี่ของสายอากาศและการแพร่กระจายในอวกาศว่างเข้าไปด้วย ดังนั้นจึงไม่มีความยืดหยุ่นในการปรับรูปคลื่นต้นแบบให้เป็นไปตามคุณลักษณะของสายอากาศในแต่ละมุม เนื่องจากรูปคลื่นได้ถูกสร้างขึ้นมีค่าเวลาอัตราอยู่ที่ 10 GHz ดังนั้นผู้วิจัยจึงพิจารณาสัญญาณตรงส่วนด้านรับ $h_{wc}(t)$ โดยได้กำหนดให้ $h_{wc}(t)$ เป็นค่าเหมาะสมที่สุดสำหรับค่าในอุดมคติ และมีค่าอัตราการขยายของสายอากาศคงที่

$$h_{wc}(t) = \frac{\sqrt{2B}v_{r-iso}(\tau_0 - t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |v_{r-iso}(t)|^2 dt}} \quad (3.21)$$

เมื่อสัญญาณต้นแบบสำหรับกรณีสายอากาศไอโซทรอปิก $v_{r-iso}(t)$ ทั้งทางด้านรับและด้านส่งคำนวณได้จาก

$$v_{r-iso}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} H_r(f, d) V_t(f) e^{j2\pi ft} df \quad (3.22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แผนภาพบล็อกของเครื่องรับสหสัมพันธ์ในกรณีสหสัมพันธ์ด้วยสัญญาณไอโซทรอปิก

3.7 อัตราขยายการส่งผ่าน

ในบทความนี้อัตราการขยายการส่งผ่านนิยามเป็นแอมพลิจูดสูงสุดของเอาต์พุตเครื่องรับสหสัมพันธ์ที่พิจารณาสายอากาศที่ใช้งานจริงนอร์แมลไลซ์ด้วยสายอากาศไอโซทรอปิก จากการนอร์แมลไลซ์ของรูปคลื่นต้นแบบ ค่าของอัตราขยายที่ได้นี้แสดงอัตราขยายของอัตราส่วน SNR ดังนั้นอัตราขยายการส่งผ่านของกรณีต้นแบบสัญญาณที่รับได้ G_{wm} แสดงได้เป็น

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

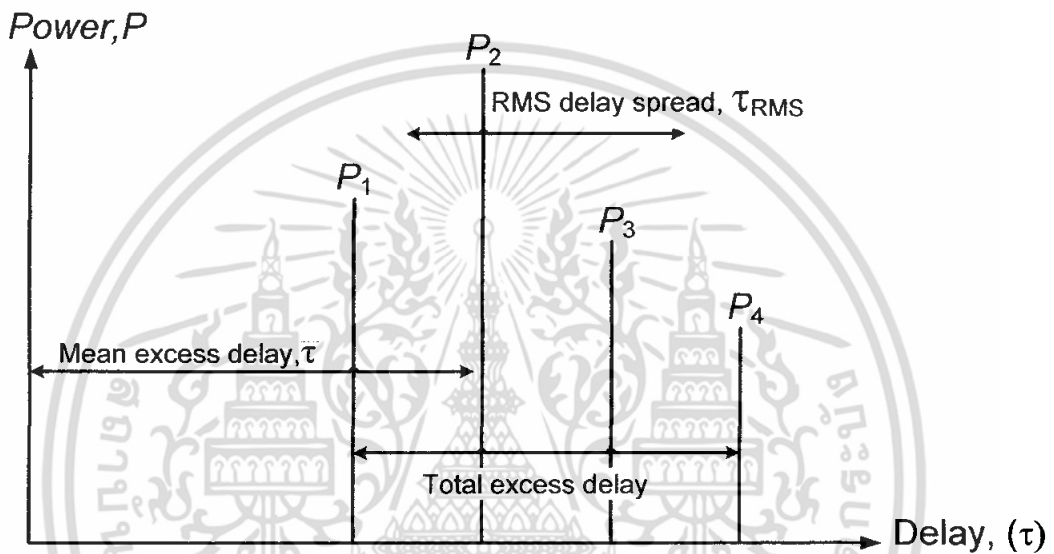
ในทำนองเดียวกันอัตราขยายการส่งผ่านของกรณีต้นแบบสัญญาณไอโซทรอปิก G_{wc} สามารถเขียนเป็น

$$G_{wc}(t) = 20 \log \frac{\max \left| \int_{-\infty}^{\infty} v_r(t) h_{wc}(t-\tau) dt \right|}{\max \left| \int_{-\infty}^{\infty} v_{r-iso}(t) h_{wc}(t-\tau) dt \right|} \quad (3.24)$$

ความแตกต่างระหว่างอัตราขยายการส่งผ่านของกรณีต้นแบบสัญญาณที่รับได้และกรณีต้นแบบไอโซทรอปิกจะเป็นการระบุปริมาณความผิดเพี้ยนของรูปคลื่น ซึ่งจะเห็นว่าอัตราขยายการส่งผ่านที่เหมาะสมที่สุดของสัญญาณแบบแถบกว้างยังไม่สามารถเป็นเพียงการคูณกันระหว่างอัตราขยายของสายอากาศ ดังนั้นจึงแตกต่างจากสูตรการส่งผ่านสัญญาณของฟรีสแบบดั้งเดิม ซึ่งด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน

เป็นการแสดงให้เห็นถึงระดับกำลังงานของสัญญาณที่เข้ามายังภาครับที่เวลาต่าง ๆ อีกทั้งยังแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของสัญญาณที่มีการสะท้อนในหลายทิศทางหรือที่เรียกว่าสัญญาณหลายวิถี โดยจะเรียกว่า ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน (Power delay profile: PDP) ตัวอย่างของ PDP ได้แสดงดังรูปที่ 3.9 [19] โดยจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างระดับกำลังงานของสัญญาณที่รับได้ ต่อเวลาที่เข้ามาถึง และนอกจากนั้นยังสามารถนำไปพิจารณาถึงผลการกระจายทางเวลา (Time dispersion) ประกอบด้วย การประวิงเข้าถึงเฉลี่ย (Mean excess delay) และ ค่าการแผ่ประวิง (RMS delay spread: RMS)



รูปที่ 3.9 ตัวอย่างหน้าตัดข้างการแผ่ประวิงกำลังงาน [19]

3.8.1 การกระจายทางเวลา

จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าเส้นทางการแพร่กระจายของสัญญาณระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับมิได้หลายทิศทาง และสัญญาณแต่ละส่วนมักจะส่งผ่านในเส้นทางที่มีระยะทางไม่เท่ากัน สัญญาณบางส่วนอาจจะเดินทางในระดับเส้นสายตาระหว่างภาคส่งและภาครับ สัญญาณส่วนนี้มักจะเดินทางถึงภาครับได้เร็ว ในขณะที่สัญญาณส่วนอื่นที่มีการตกกระทบพื้นผิวของวัสดุและเกิดการสะท้อนหลายครั้งกว่าจะเดินทางถึงภาครับ สัญญาณมักจะใช้เวลาการแพร่กระจายที่ยาวนานกว่า ความล่าช้าในการเดินทางของสัญญาณแต่ละส่วนก่อให้เกิดปัญหาที่เรียกว่า การแผ่ประวิง (Delay spread) ขึ้น นั่นคือสัญญาณแต่ละส่วนใช้เวลาเดินทางถึงจุดหมายไม่เท่ากัน หากจะพิจารณาถึงเวลาที่ถูกระวังออกไปของสัญญาณที่เข้ามายังภาครับ ในส่วนของการกระจายทางเวลา (Time dispersion) นั้นสามารถที่จะวิเคราะห์โดยใช้พารามิเตอร์ที่เรียกว่า ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ประวิงเกิน ออกไปจากค่าเวลาเดิมหรือการประวิงเข้าถึงเฉลี่ย (Mean excess delay: $\bar{\tau}$) และค่าการแผ่ประวิง RMS (RMS delay spread: σ_{τ}) ซึ่งค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 ตัวนี้ถูกนิยามไว้ดังสมการที่ 3.24 และสมการที่ 3.25 ตามลำดับ [19]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i^2 \tau_i}{\sum_{i=1}^n a_i^2} = \frac{\sum_{i=1}^n P(\tau_i) \tau_i}{\sum_{i=1}^n P(\tau_i)} \quad (3.25)$$

โดยที่

- $\bar{\tau}$ คือ การประวิงเข้าถึงเฉลี่ย
- a_i คือ ระดับของสัญญาณเส้นทางที่ i
- τ_i คือ เวลาประวิงที่เกิดขึ้นของสัญญาณเส้นทางที่ i
- $P(\tau_i)$ คือ ระดับกำลังงานของสัญญาณเส้นทางที่ i

สำหรับค่าการแผ่ประวิง RMS นั้นจะมีนิยามคือ

$$\sigma_\tau = \sqrt{\tau^2 - (\bar{\tau})^2} \quad (3.26)$$

โดยที่

$$\tau^2 = \frac{\sum_{i=1}^n a_i^2 \tau_i^2}{\sum_{i=1}^n a_i^2} = \frac{\sum_{i=1}^n P(\tau_i) \tau_i^2}{\sum_{i=1}^n P(\tau_i)} \quad (3.27)$$

3.9 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์การส่งผ่านช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่ง บนพื้นฐานการส่งผ่านของฟรีส ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับช่องสัญญาณ บนพื้นฐานสูตรการส่งผ่านของฟรีส การประยุกต์สูตรการส่งผ่านของฟรีส และนอกจากนี้ยังได้พิจารณานำเสนอเครื่องรับสหสัมพันธ์ โดยการสหสัมพันธ์ด้วยสัญญาณที่รับได้ (Received signal template) และการสหสัมพันธ์ด้วยสัญญาณไอโซทรอปิก (Isotropic template) เพื่อได้ค่าอัตราส่วนกำลังสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่าสูงมากที่สุด ผลการทดลองวิจัยและผลการวิเคราะห์อัตราขยายการส่งผ่าน หน้าตัดข้างการประวิงกำลัง ซึ่งพารามิเตอร์เหล่านี้จะแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ อันเนื่องมาจากผลกระทบจากปัจจัยดังที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้น ซึ่งจะแสดงขั้นตอนในการจำลอง และผลการทดลองในบทต่อไป

บทที่ 4

การจำลองและผลการทดลองวิจัย

4.1 กล่าวนำ

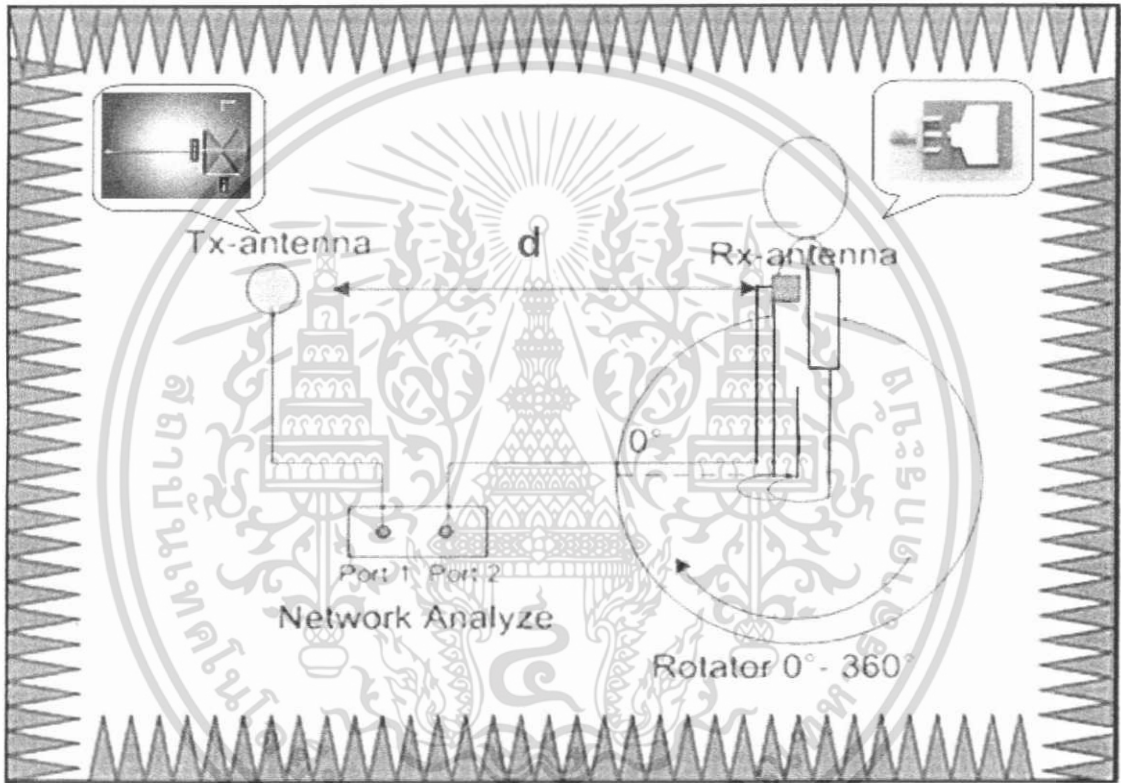
โดยบทนี้จะกล่าวถึงการจำลองของการวัดสัญญาณแถบกว้างยิ่งซึ่งเป็นการตรวจสอบผลการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณในระบบการสื่อสารไร้สาย โดยพิจารณาถึงผลกระทบของร่างกายมนุษย์ที่มีผลต่อช่องสัญญาณการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่ง โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ทำการวัดและบันทึกผล จากนั้นนำผลที่ได้จากการวัดไปทำการวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ที่สำคัญบนพื้นฐานสูตรการส่งผ่านของฟรีส และทางด้านรับได้ใช้เครื่องรับสหสัมพันธ์ สำหรับในบทนี้ได้แสดงรูปแบบการทดลองวิจัยในรูปแบบต่างๆ เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย สายอากาศที่ใช้ในการทดสอบ และพารามิเตอร์สำคัญต่างๆที่กำหนดสำหรับขั้นตอนการทดลองวิจัย ซึ่งได้อธิบายไว้ดังต่อไปนี้



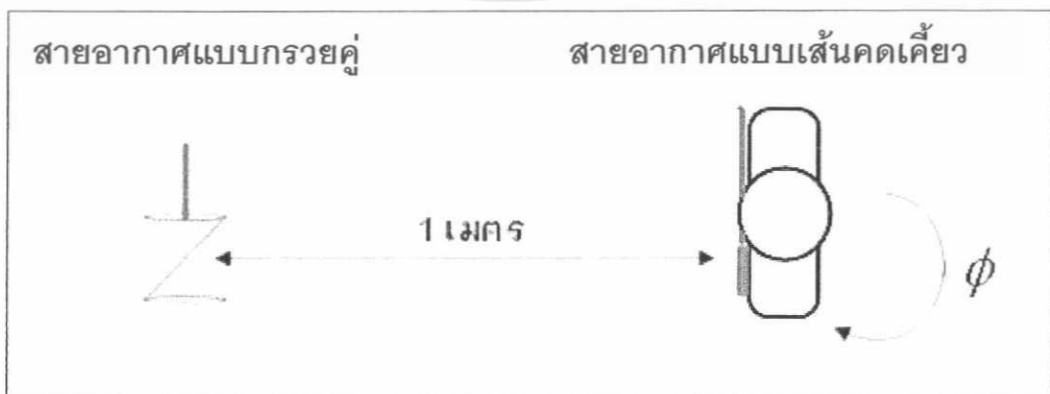
รูปที่ 4.1 แบบแผนการทดลองวัดช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง

4.2 รูปแบบจำลองในการวัด

เครื่องวิเคราะห์ที่โครงข่ายแบบเวกเตอร์จะใช้ทดลองในโหมดซึ่งใช้วัดการตอบสนองเมื่อพอร์ตที่ 1 ต่อกับสายอากาศทางด้านส่ง และพอร์ต 2 ต่อกับสายอากาศทางด้านรับ โดยจะวัดในห้องไร้การสะท้อนของคลื่น สายอากาศทั้งด้านรับและด้านส่งจะถูกติดตั้งและมีความสูง 1.74 เมตร มีระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร S_{21} เป็นการวัดฟังก์ชันการถ่ายโอนระหว่างสายอากาศทางด้านส่ง และสายอากาศทางด้านรับ โดยจะทำการหมุนจากมุม 0 องศา ถึง 360 องศา โดยเคลื่อนที่ครั้งละ 5 องศา การวางตัวของสายอากาศทางด้านรับและส่ง จะวางในลักษณะแนวนอน เพื่อคุณสมบัติของสายอากาศในแต่ละมุม ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 การจัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับการวัดในห้องไร้การสะท้อนของคลื่น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ประกอบการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.3 การปรับสายอากาศด้านรับในมุมมองจากด้านบน
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 แบบจำลองของสัญญาณที่ใช้ส่ง

ผลกระทบจากสายอากาศทำให้การผิดเพี้ยนของรูปคลื่นส่งจะเห็นได้ชัดเมื่อแถบความถี่สูงขึ้น โดยพิจารณาได้จากสัญญาณวิทยุอิมพัลส์ซึ่งมีความถี่ครอบคลุมตลอดทั้งช่วงที่คณะกรรมการกิจการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา กำหนด ตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz โดยมีความถี่กลาง (f_0) เท่ากับ 6.85 GHz และสเปกตรัมแบนด์วิดท์ (f_b) เท่ากับ 7.5 GHz ในการทดลองการส่งผ่านคลื่นนั้นจะสมมติให้เป็นสัญญาณแบบ ASK (Amplitude-shift keying) แบบเดี่ยว พร้อมกับความถี่พาห้ f_0 เพื่อให้เป็นไปตามการกำหนดค่าของ f_b ความยาวของสัญญาณต้องตั้งไว้ที่ $\frac{2}{f_b}$ ดังนั้นสัญญาณจะ

ถูกจำกัดช่วงโดยฟิลเตอร์ที่มีการลดลงอย่างสม่ำเสมอของ Nyquist roll-off ตัวแปร $\alpha = 0$ (เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า) และแถบผ่าน ($f_0 - \frac{f_b}{2}, f_0 + \frac{f_b}{2}$) รูปที่ 4.4 และ รูปที่ 4.5 แสดงรูปคลื่นสัญญาณในโดเมนเวลา และสเปกตรัมสัญญาณในโดเมนความถี่

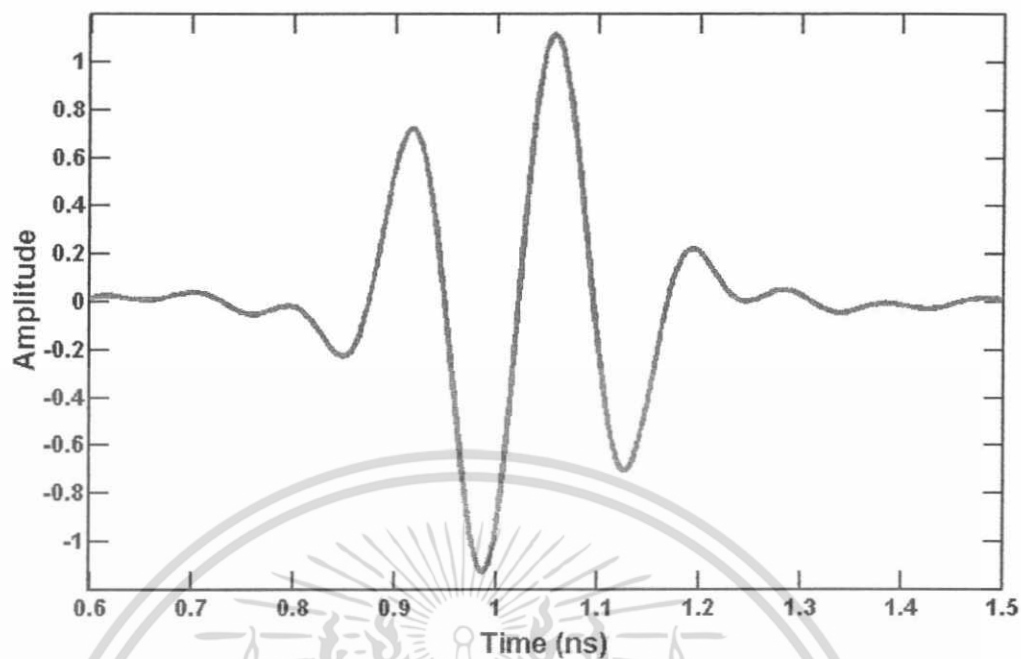
4.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

4.3.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์

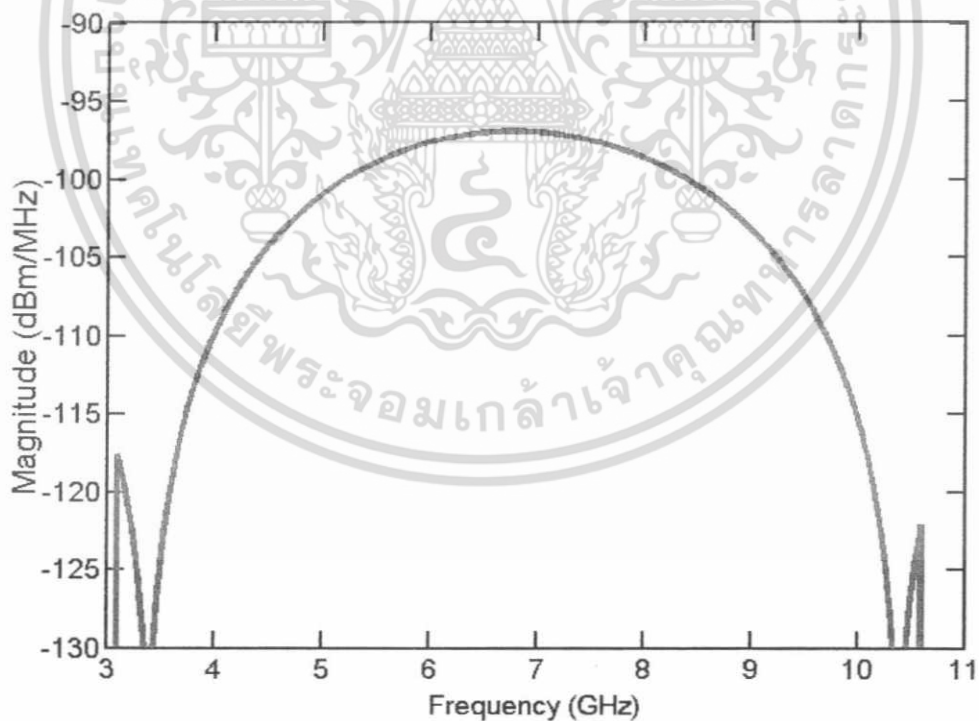
องค์ประกอบสำคัญที่ใช้ในการทดสอบสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งประกอบด้วย

- เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ รุ่น HP-8510C
- ชุดทดสอบพารามิเตอร์การกระจัดกระจาย (S-parameter test set) รุ่น HP-8514B
- เครื่องสังเคราะห์ความถี่ (Frequency synthesized sweeper) รุ่น HP-8360A

หลักการทำงานของเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์คือเครื่องจะสังเคราะห์ความถี่ตามที่ได้ตั้งค่าในการทดลองคือ 3 GHz ถึง 11 GHz จากนั้นจะส่งสัญญาณไปยังชุดทดสอบพารามิเตอร์การกระจัดกระจายซึ่งอุปกรณ์ชุดนี้จะมีคุณสมบัติที่สามารถทดสอบสัญญาณในโครงข่ายหนึ่งพอร์ตและสองพอร์ต ซึ่งในการทดสอบนี้จะทำการทดสอบแบบสองพอร์ต โดยพอร์ตที่หนึ่งคือพอร์ตที่ใช้ในการส่งสัญญาณ และพอร์ตที่สองคือ พอร์ตที่ใช้ในการรับสัญญาณ โดยจะมีการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลผ่านทางพอร์ตแบบ GPIB (General purpose interface bus) เพื่อทำการควบคุมในการวัดและทำการบันทึกข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ โดยหลังจากการทดสอบนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่อไป



รูปที่ 4.4 รูปคลื่นสัญญาณที่ใช้ในการส่งของแถบกว้างยิ่งในโดเมนทางเวลา [6]



รูปที่ 4.5 สเปกตรัมที่ใช้ในการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่งในโดเมนทางความถี่ [6]

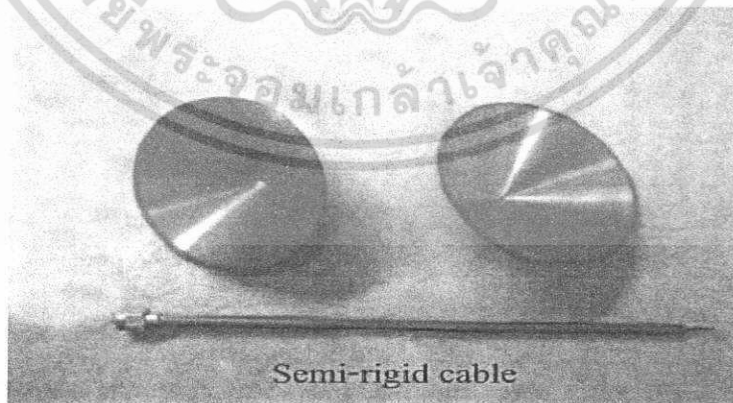
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 สายอากาศที่ใช้ในการทดลอง

ในการส่งสัญญาณแบบไร้สายจำเป็นต้องมีอุปกรณ์สำคัญอย่างหนึ่งคือ สายอากาศ ซึ่งจะอยู่ทางด้านส่งและทางด้านรับ โดยทำหน้าที่ในการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าจากเครื่องส่งให้เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แพร่กระจายคลื่นผ่านอากาศไปยังสายอากาศด้านรับแล้วเปลี่ยนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่รับได้เป็นสัญญาณไฟฟ้าตามเดิม โดยในการทดสอบนี้ได้ใช้สายอากาศแบบกรวยคู่เป็นสายอากาศทางด้านส่ง (Tx) และสายอากาศแบบเส้นคดเคี้ยวเป็นสายอากาศทางด้านรับ (Rx) และเป็นสายอากาศที่ตอบสนองความถี่ได้กว้าง (Wideband) ซึ่งสามารถรองรับการใช้งานในความถี่ย่านตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ตามข้อกำหนดย่านความถี่การใช้งานของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งของทาง FCC โดยสายอากาศที่ถูกนำมาใช้ในการทดสอบมีรายละเอียดดังนี้

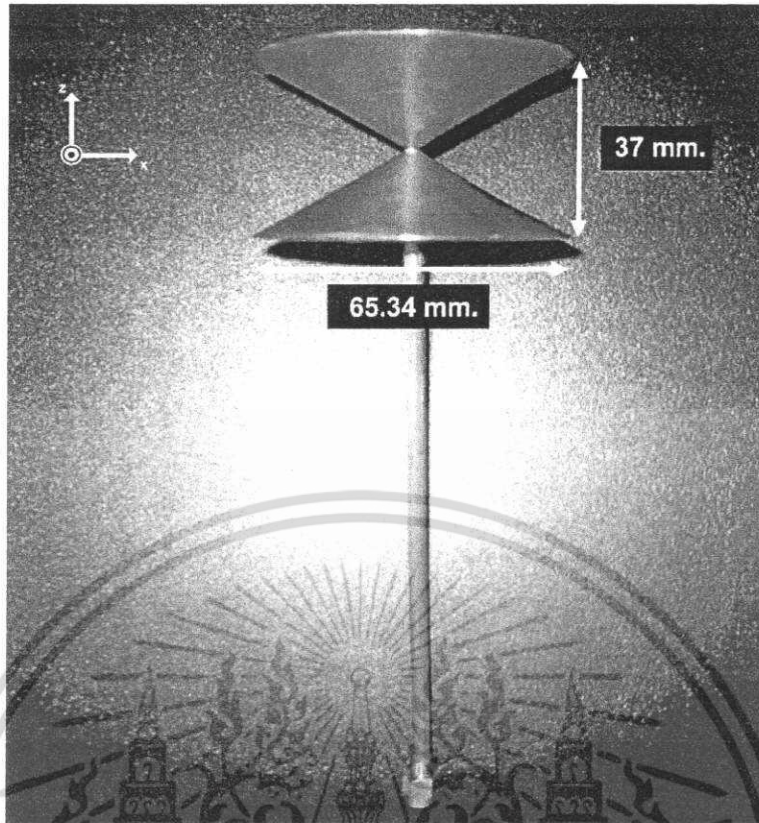
4.3.2.1 สายอากาศแบบกรวยคู่

สายอากาศแบบกรวยคู่เป็นสายอากาศแบบแถบกว้าง จากห้องปฏิบัติการวิจัยได้ออกแบบและสร้างขึ้นด้วยวัสดุทองแดงเพื่อใช้ในการวัดและทดสอบย่านแถบความถี่กว้างยังเป็นสายอากาศที่สร้างง่าย และราคาถูกด้วย โครงสร้างและขนาดของสายอากาศแสดงในรูปที่ 4.6 และ 4.7 มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ฐานของแต่ละกรวยเป็น 65.34 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างฐานกรวยทั้งสองเป็น 37 มิลลิเมตร สายอากาศแบบกรวยคู่เป็นสายอากาศที่มีลักษณะการแพร่กระจายของคลื่น (radiation pattern) แบบรอบทิศทาง (Omni-directional) มีช่วงความถี่การแผ่กระจายที่กว้างครอบคลุมช่วงความถี่ที่ใช้วัด ลักษณะของเฟสมีความเป็นเชิงเส้นที่มาก ในการพิจารณาสายอากาศแบบกรวยคู่นี้ได้พิจารณาจากการกระจายของสายอากาศซึ่งมีความเหมาะสมสำหรับกับรูปคลื่นสัญญาณแบบพัลส์ โดยที่กรวยด้านบนของสายอากาศใช้ติดต่อกับสัญญาณความถี่คลื่นวิทยุ ขณะที่กรวยด้านล่างใช้ติดต่อกับกราวด์ และคุณสมบัติของสายอากาศ $|S_{11}|$ แสดงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (Reflection coefficient) มีค่าต่ำกว่า -10dB ตั้งแต่ช่วงความถี่ประมาณ 3 GHz ถึง 20 GHz การแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบรอบทิศทางในมุมกวาด (Azimuth) มีอัตราขยาย (Gain) ของสายอากาศต่ำ ซึ่งอยู่ในช่วง -4 dBi ถึง 2 dBi

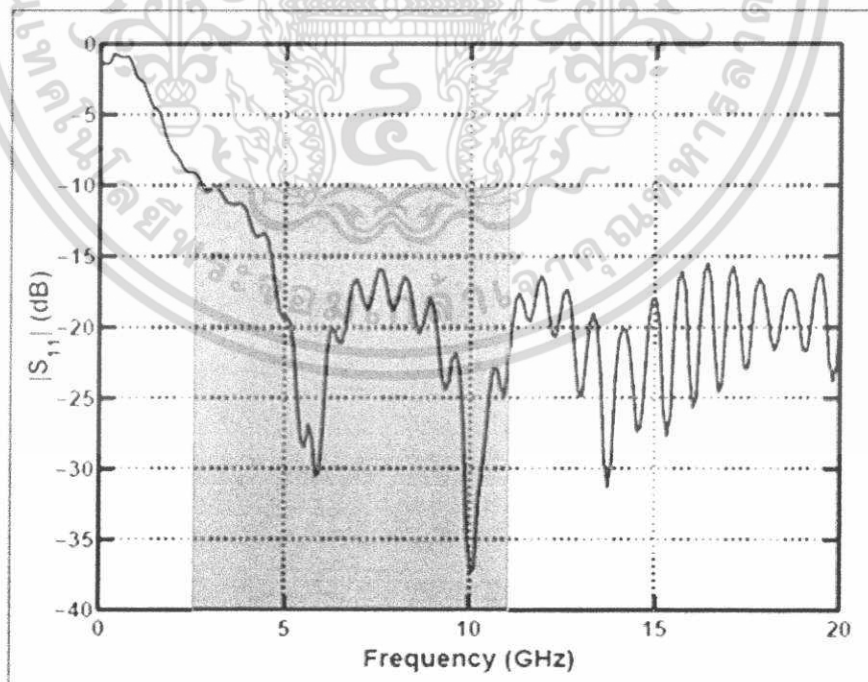


รูปที่ 4.6 ส่วนประกอบของสายอากาศแบบกรวยคู่ [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

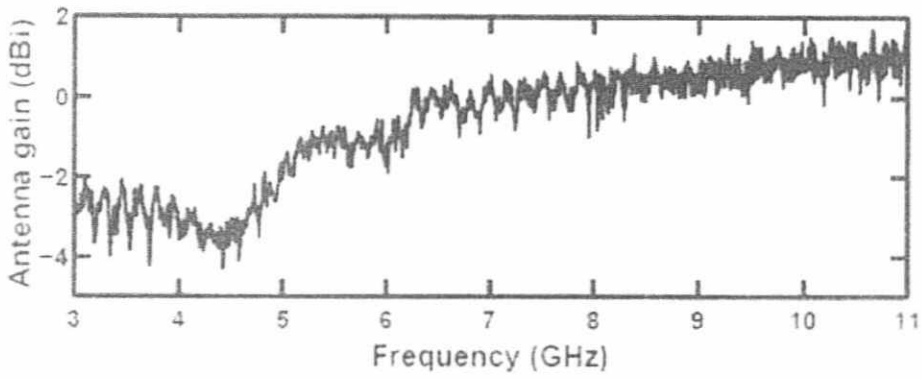


รูปที่ 4.7 โครงสร้างและขนาดของสายอากาศแบบกรวยคู่ (Biconical antenna) [6]

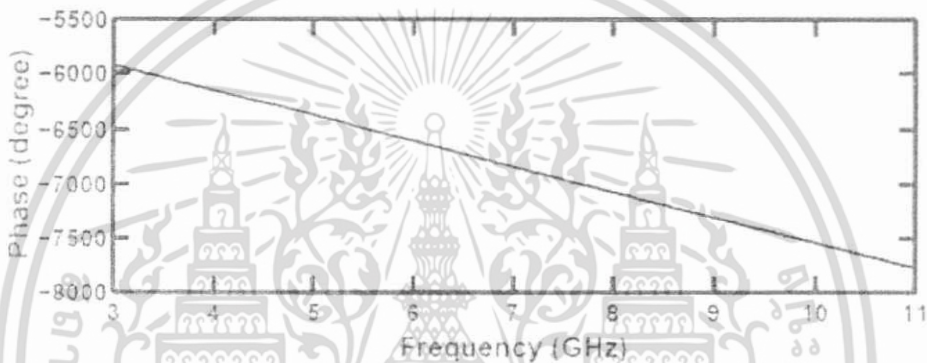


รูปที่ 4.8 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ $|S_{11}|$ ของสายอากาศแบบกรวยคู่ [21]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



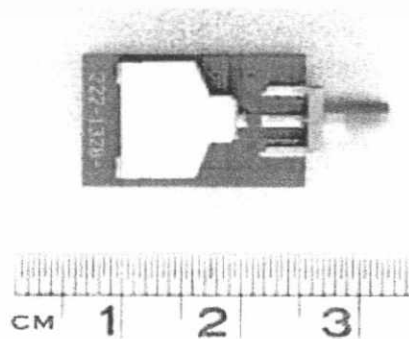
รูปที่ 4.9 อัตราขยายของสายอากาศแบบกรวยคู่ [22]



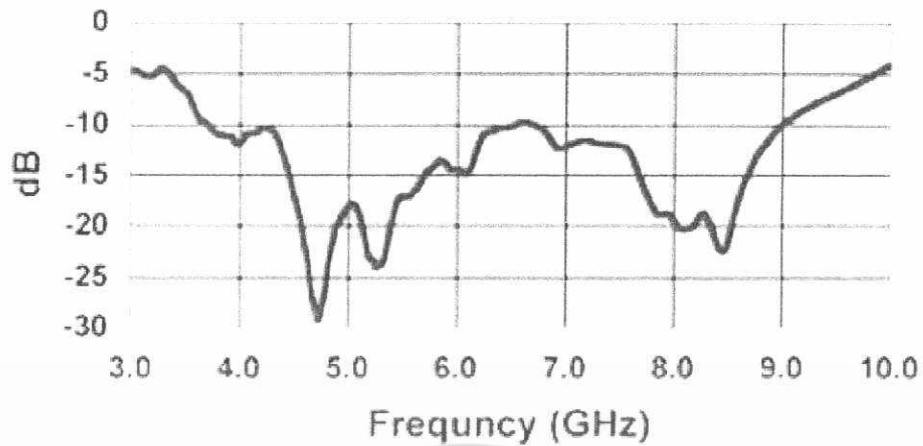
รูปที่ 4.10 เฟสของสายอากาศแบบกรวยคู่ [22]

4.3.2.2 สายอากาศแบบเส้นคดเคี้ยว

สายอากาศทางด้านรับจะเป็นสายอากาศแบบเส้นคดเคี้ยว ดังรูปที่ 4.11 พัฒนาขึ้นโดยบริษัท Skycross ในประเทศสหรัฐอเมริกา [7] เพื่อนำมาใช้เป็นสายอากาศที่ใช้ในการทดลอง มีขนาดยาว 26.2 มิลลิเมตร กว้าง 18.5 มิลลิเมตร เป็นสายอากาศแบบแถบกว้าง (Wideband antenna) มีอัตราขยายสูงสุด 4.4 dBi ที่ความถี่ 4.5 GHz มีช่วงการใช้งานของสายอากาศอยู่ที่ 3.1 GHz ถึง 10 GHz มีลักษณะการแพร่กระจายของคลื่น (Radiation pattern) แบบรอบทิศทาง (Omni-directional)



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 4.11 สายอากาศแบบเส้นคดเคี้ยว (Meander line antenna) [7] โยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ $|S_{11}|$ ของสายอากาศแบบเส้นคดเคี้ยว [7]

4.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการทดลองได้แสดงให้เห็นในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์	ค่า
ช่วงความถี่	3.0 GHz ถึง 11.0 GHz
จำนวนจุดของความถี่	1601 จุด
พิสัยกำลังพลวัต	80 เดซิเบล
ความสูงของสายอากาศด้านส่ง	1.74 เมตร
ความสูงของสายอากาศด้านรับ	1.74 เมตร
ระยะห่างระหว่างด้านส่งกับด้านรับ	1.0 เมตร
ช่วงที่หมุนทางด้านรับ	0 ถึง 360 องศา
การหมุนทางด้านรับ	5 องศา / ครั้ง
การวางตัวของสายอากาศ	แนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ขั้นตอนและวิธีการในการทดลอง

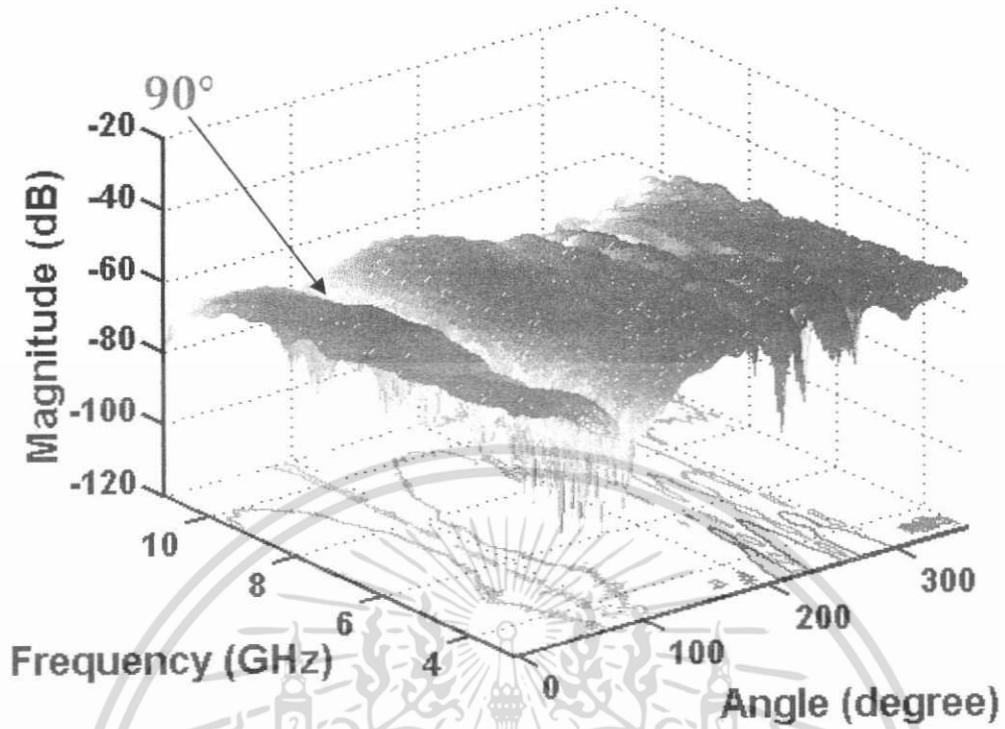
1. เริ่มทำการติดตั้งสายอากาศตามแบบจำลองการทดลอง โดยใช้สายอากาศแบบกรวยคู่เป็นสายอากาศทางด้านส่ง และสายอากาศแบบเส้นคดเคี้ยวเป็นสายอากาศทางด้านรับ ติดตั้งสายอากาศทั้งสองที่ความสูงเท่ากันคือที่ 1.74 เมตร และมีระยะห่างระหว่างสายอากาศ 1 เมตร
2. ทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ความถี่ที่ 3 GHz ถึง 11 GHz เพื่อให้ครอบคลุมช่วงความถี่ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.3a และตั้งจำนวนจุดความถี่ที่ 1601 จุด
3. ทำการเปรียบเทียบเครื่องวิเคราะห์ที่โครงข่ายแบบเวกเตอร์พอร์ตด้านส่ง ด้วยชุดเปรียบเทียบซึ่งประกอบไปด้วย open circuit, short circuit และ load
4. จากนั้นทำการเปรียบเทียบพอร์ตทางด้านรับ เมื่อเสร็จสิ้น จึงนำสายเคเบิลไปต่อกับสายอากาศแล้วทำการวัด
5. ทำการวัดโดยหมุนสายอากาศด้านรับไปครั้งละ 5 องศาจนครบ 360 องศา จนเสร็จสิ้น
6. แล้วนำผลที่ได้ไปประมวลผลในโปรแกรม Matlab และทำการวิเคราะห์ผล

4.6 ผลการทดลองวิจัย

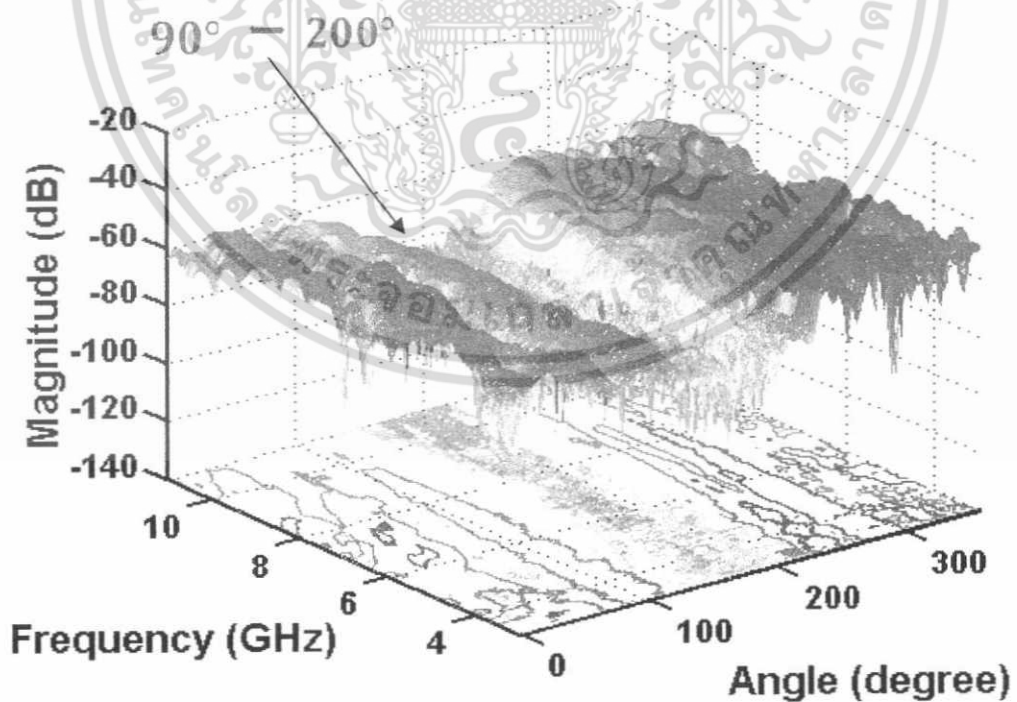
จากการทดลองภายในห้องไร้การสะท้อนของคลื่นเพื่อลดผลกระทบจากการสะท้อนของคลื่นในบริเวณแต่ละด้านของห้องโดยกำหนดให้สายอากาศทางด้านส่งเป็นแบบกรวยคู่ และสายอากาศทางด้านรับเป็นแบบเส้นคดเคี้ยว ซึ่งมีลักษณะและขั้นตอนการวัดดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น โดยผลที่ได้จากการวัดจะแบ่งเป็น 2 กรณีคือ กรณีที่มีผลและไม่มีผลจากร่างกายมนุษย์ในมุมต่างๆ ตั้งแต่ 0 องศา ถึง 360 องศา ซึ่งเมื่อนำข้อมูลดังกล่าวไปวิเคราะห์บนโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะสามารถแสดงให้เห็นถึงผลที่เกิดขึ้นในลักษณะต่างๆ ดังนี้

4.6.1 ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณ

ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณจะเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ ตามองศาที่หมุนรูปที่ 4.13 แสดงถึงขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์ โดยที่ช่วงมุม 90 องศาและ 270 องศา ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณมีค่าลดลงเนื่องมาจากคุณลักษณะของสายอากาศ โดยมีค่าเฉลี่ย -72.65 dB และที่มุม 0 องศา และ 180 องศา ซึ่งเป็นมุมที่อยู่ตรงข้ามกัน จะเห็นว่ามีขนาดที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากสายอากาศมีการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง รูปที่ 4.14 แสดงถึงขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณีที่มีร่างกายมนุษย์ โดยที่ช่วงมุม 90 ถึง 200 องศา ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณมีค่าต่ำลงเนื่องมาจากการบดบังของร่างกายมนุษย์ โดยที่มุม 180 องศา จะมีค่าเฉลี่ยประมาณ -81.24 dB



รูปที่ 4.13 ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งกรณิที่ไม่มีร่างกายมนุษย์

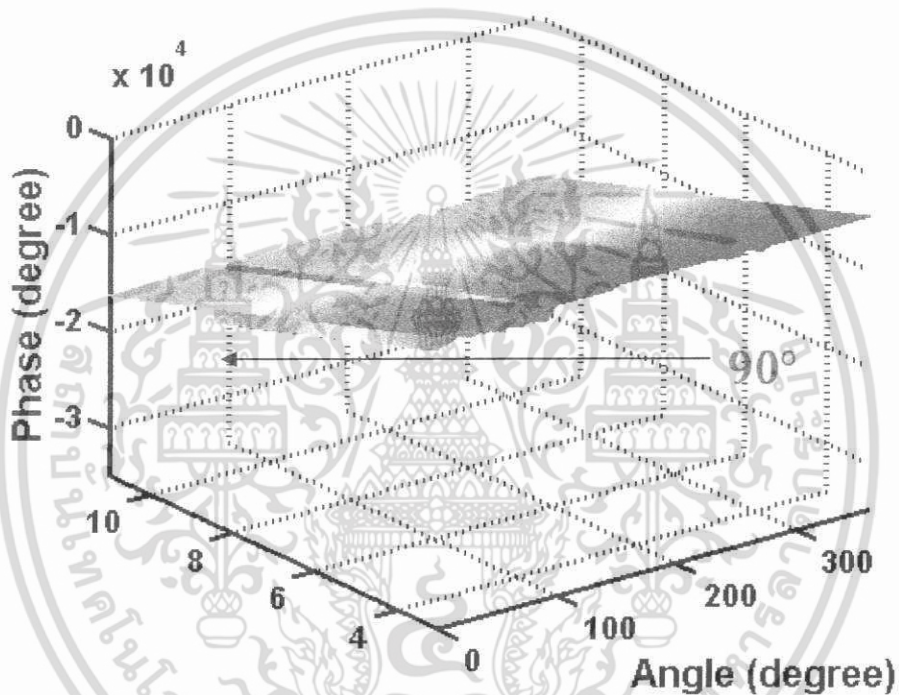


รูปที่ 4.14 ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งกรณิที่มีร่างกายมนุษย์

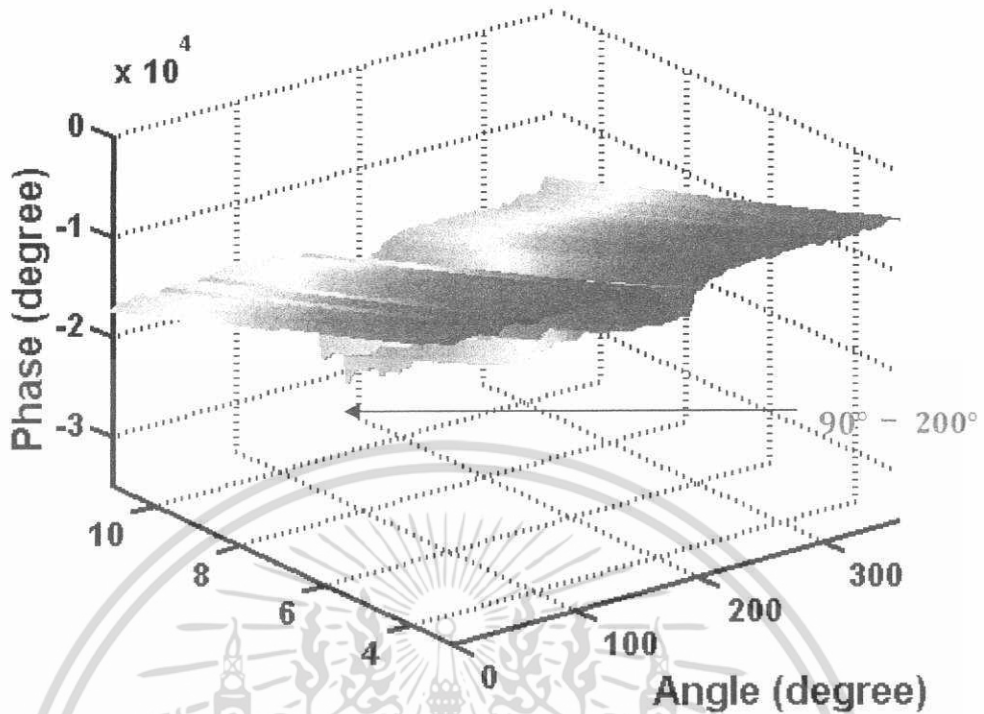
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.2 เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณ

เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณเป็นเส้นตรงเกือบเหมือนในอุดมคติ โดยจะเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่และตามองศาที่หมุน ซึ่งเฟสที่มีลักษณะที่เป็นเส้นตรงจะมีค่าความผิดพลาดของสัญญาณต่ำ ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่ดีของสายอากาศที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล รูปที่ 4.15 แสดงถึงเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์ ซึ่งที่มุม 90 องศาและ 270 องศา เฟสจะมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากคุณลักษณะของสายอากาศ และรูปที่ 4.16 แสดงถึงเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณีที่มีร่างกายมนุษย์ช่วงมุม 90 ถึง 200 องศา เฟสจะมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการบดบังของร่างกายมนุษย์



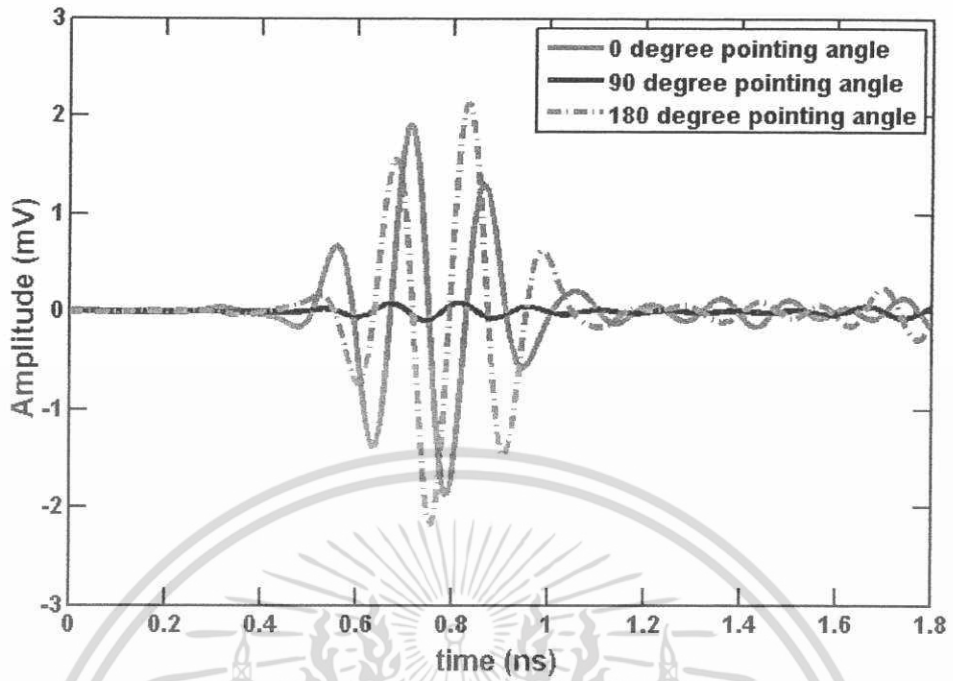
รูปที่ 4.15 เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์



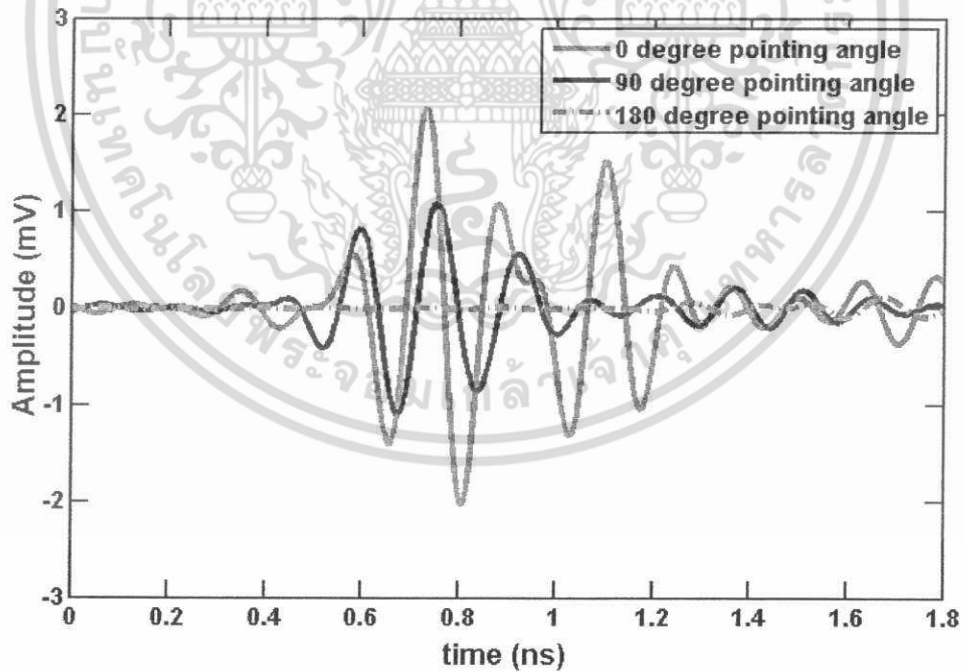
รูปที่ 4.16 เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งยวดที่มีร่างกายมนุษย์

4.6.3 สัญญาณที่รับได้

สัญญาณที่รับได้จากสายอากาศ (Received signal) ได้ทำการเปรียบเทียบสัญญาณที่รับได้จากมุม 0 องศา 90 องศา และ 180 องศา รูปที่ 4.17 แสดงรูปคลื่นหลังสายอากาศที่รับได้กรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์ ที่มุม 90 องศา สัญญาณที่รับได้จะมีค่าต่ำเนื่องจากคุณลักษณะของสายอากาศทำให้ที่มุมนี้มีค่าสัญญาณรับได้จึงต่ำ และที่มุม 0 องศา และ มุม 180 องศา จะมีรูปคลื่นสัญญาณที่มีขนาด และรูปร่างของสัญญาณที่ใกล้เคียงกัน รูปที่ 4.18 แสดงรูปคลื่นหลังสายอากาศที่รับได้กรณีที่มีร่างกายมนุษย์ ที่มุม 0 องศา และ 90 องศา รูปคลื่นหลังสายที่รับได้มีการเปลี่ยนแปลงโดยมีค่าแอมพลิจูดสูงขึ้น เนื่องมาจากการสะท้อนและการกระจายของสัญญาณกับร่างกายมนุษย์และสายอากาศ ที่มุม 180 องศา สัญญาณที่รับได้จะมีค่าต่ำเนื่องมาจากการบดบังของร่างกายมนุษย์



รูปที่ 4.17 รูปคลื่นหลังสายอากาศที่รับได้กรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์

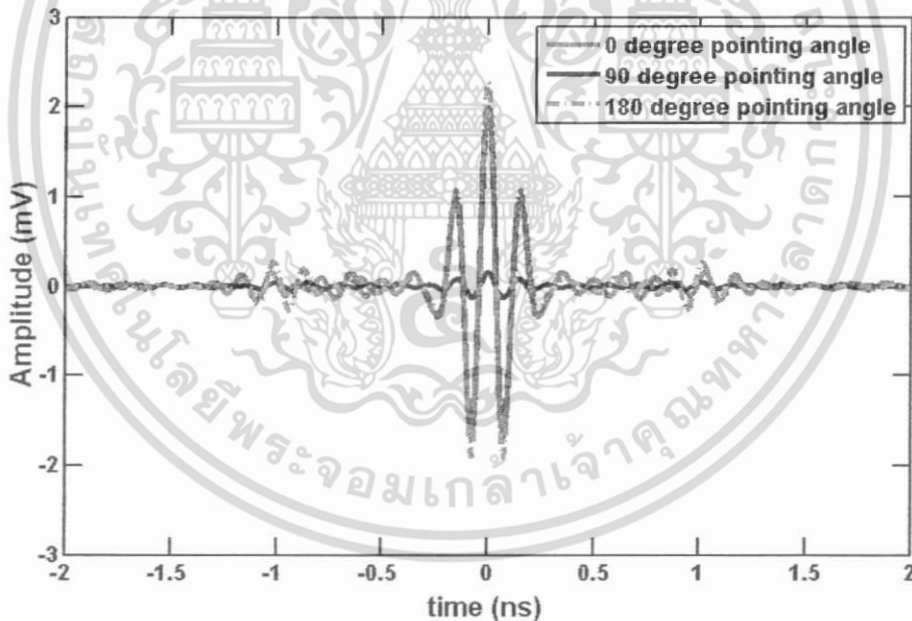


รูปที่ 4.18 รูปคลื่นหลังสายอากาศที่รับได้กรณีที่มีร่างกายมนุษย์

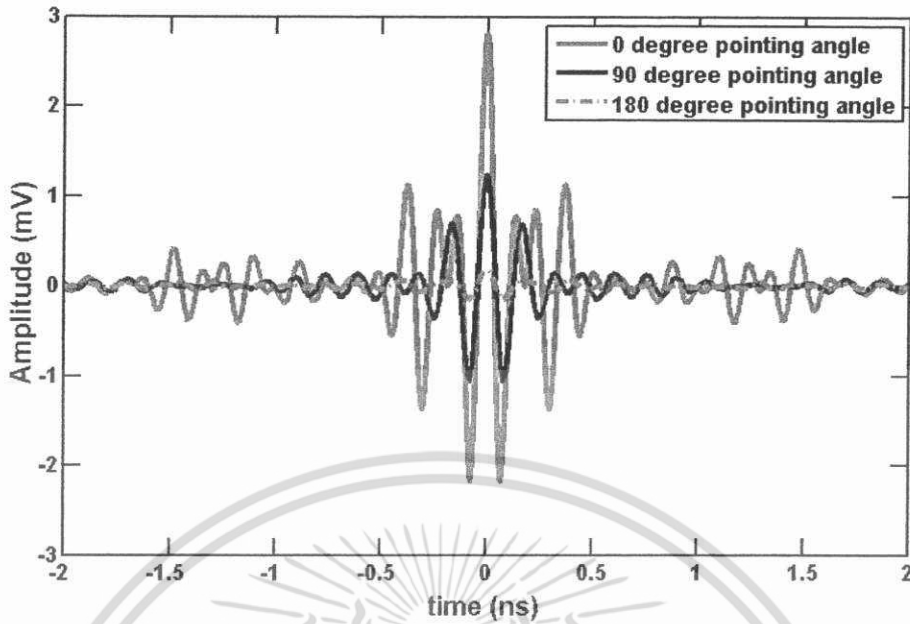
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.4 เอาต์พุตของเครื่องรับสหมัมพันธ์ด้วยสัญญาณที่รับได้

จากงานวิจัยนี้ได้พิจารณาเครื่องรับแบบสหมัมพันธ์เพื่อปรับปรุงสัญญาณที่รับได้ให้มีค่าที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากระบบแถบกว้างยังเป็นระบบที่ต้องดีเทคสัญญาณรูปคลื่นที่รับได้ โดยหลักการจะให้เวลาของทุกสัญญาณมีค่าเหมาะสมที่สุดที่เวลาเดียวกัน ซึ่งเอาต์พุตของเครื่องรับสหมัมพันธ์ด้วยสัญญาณที่รับได้เปรียบเทียบกับที่มุม 0 องศา 90 องศา และ 180 องศา รูปที่ 4.19 แสดงถึงเอาต์พุตของเครื่องรับสหมัมพันธ์ด้วยสัญญาณที่รับได้ในกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์ โดยที่เวลา 0 นาโนวินาที จะมีค่าสูงที่สุดที่มุม 0 องศา และ 180 องศา ส่วนที่มุม 90 องศา เอาต์พุตของเครื่องรับสหมัมพันธ์ด้วยสัญญาณที่รับได้จะมีค่าต่ำเนื่องจากคุณลักษณะของสายอากาศ รูปที่ 4.20 แสดงเอาต์พุตของเครื่องรับสหมัมพันธ์ด้วยสัญญาณที่รับได้ในกรณีที่มีร่างกายมนุษย์ โดยที่เวลา 0 นาโนวินาที ที่มุม 0 องศา และ 90 องศา จะมีค่าแอมพลิจูดสูงกว่ากรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์ เนื่องมาจากการสะท้อนและการกระจายของสัญญาณกับร่างกายมนุษย์และสายอากาศ และที่มุม 180 องศา เอาต์พุตของเครื่องรับสหมัมพันธ์ด้วยสัญญาณที่รับได้จะมีค่าต่ำเนื่องมาจากการบดบังของร่างกายมนุษย์ ซึ่งจากการที่นำเครื่องรับแบบสหมัมพันธ์มาทำการศึกษานั้นจะเห็นได้ว่าแอมพลิจูดของรูปคลื่นทั้งในกรณีมีร่างกายและไม่มีร่างกายนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นจากการที่พิจารณาสัญญาณที่ได้รับจากสายอากาศเพียงอย่างเดียว



รูปที่ 4.19 รูปคลื่นเอาต์พุตของเครื่องรับสหมัมพันธ์ด้วยสัญญาณที่รับได้กรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์

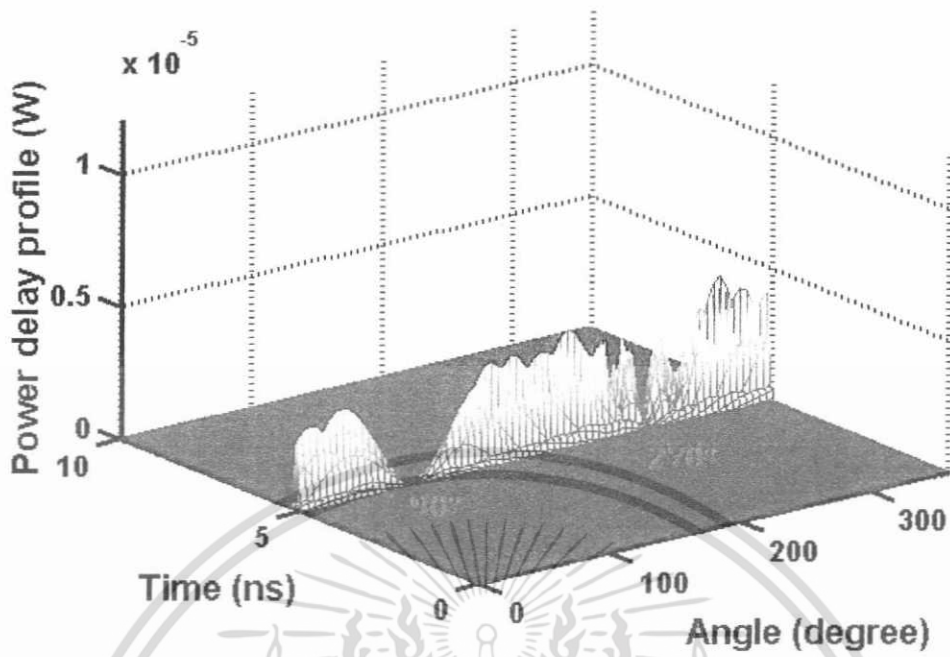


รูปที่ 4.20 รูปคลื่นเอาต์พุตของเครื่องรับสหสัมพันธ์ด้วยสัญญาณที่รับได้กรณีที่มีร่างกายมนุษย์

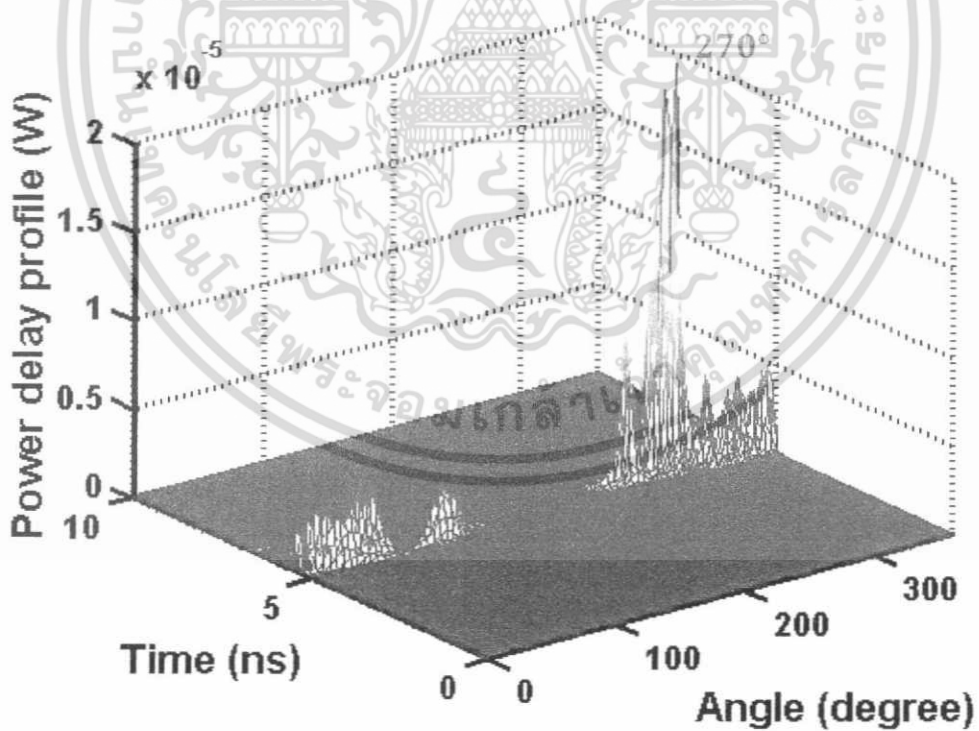
4.6.5 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ

ในการแสดงผลของภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณนั้นจะแสดงในรูปแบบของกราฟ 3 แกนคือ เวลาที่ใช้ในการเดินทาง ระดับกำลังงานของสัญญาณที่รับได้และมุมที่ทำการวัด โดยพิจารณาในสองกรณีคือ กรณีที่ไม่มีผลและมีผลจากร่างกายมนุษย์ ซึ่งนำมาเปรียบเทียบกันเพื่อหาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.21 และ 4.22 ตามลำดับ จากรูปจะเห็นได้ว่า ในกรณีที่ไม่มีผลจากร่างกายมนุษย์นั้นสัญญาณเดินทางมาถึงด้านรับใช้เวลาเท่ากันคือประมาณ 5 นาโนวินาที โดยมีระดับของสัญญาณที่ต่างกันตามมุมที่ทำการหมุนสายอากาศด้านรับซึ่งที่มุม 90 องศา และ 270 องศา นั้นจะมีระดับของสัญญาณต่ำกว่ามุมอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะทางโครงสร้างของสายอากาศ ส่วนในกรณีที่มีผลจากร่างกายมนุษย์นั้นจะเห็นได้ว่าระดับของสัญญาณในแต่ละมุมนั้นลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ช่วงมุม 90 องศา ถึง 200 องศา ระดับของสัญญาณจะต่ำที่สุดเนื่องจากเกิดการบดบังจากร่างกายมนุษย์ และที่มุม 270 องศา ระดับของสัญญาณจะสูงขึ้นเนื่องจากลักษณะทางโครงสร้างของสายอากาศที่มีการสะท้อนของคลื่น และการกระจัดกระจายของคลื่นกับคอนเนคเตอร์ของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 ภาพตัดขวางการประวิงกำลังงานของแถบกว้างยิ่งยวดที่ไม่มีร่างกายมนุษย์



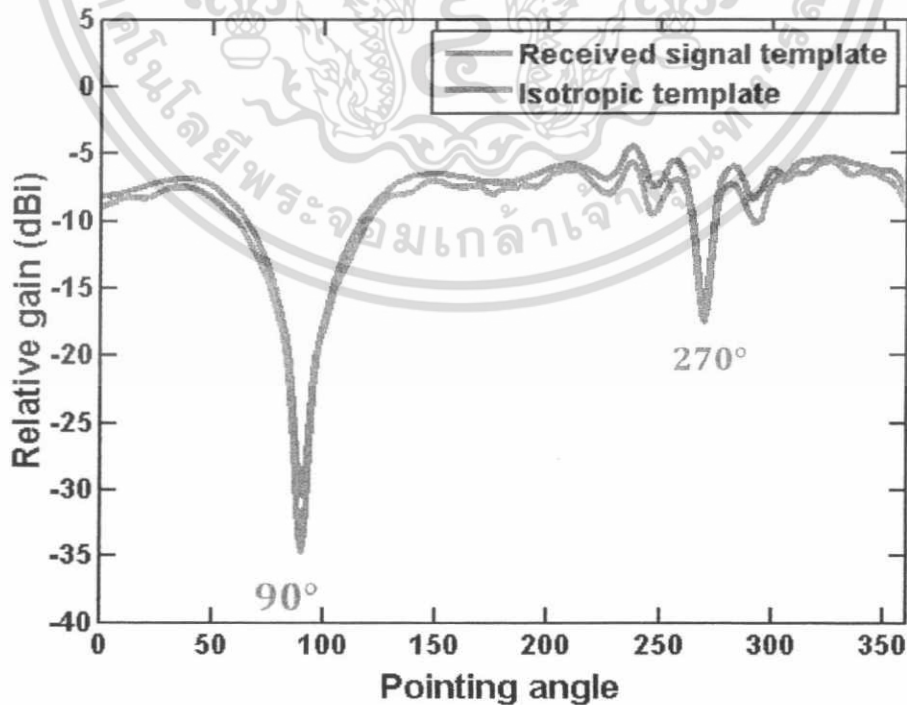
รูปที่ 4.22 ภาพตัดขวางการประวิงกำลังงานของแถบกว้างยิ่งยวดที่มีร่างกายมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

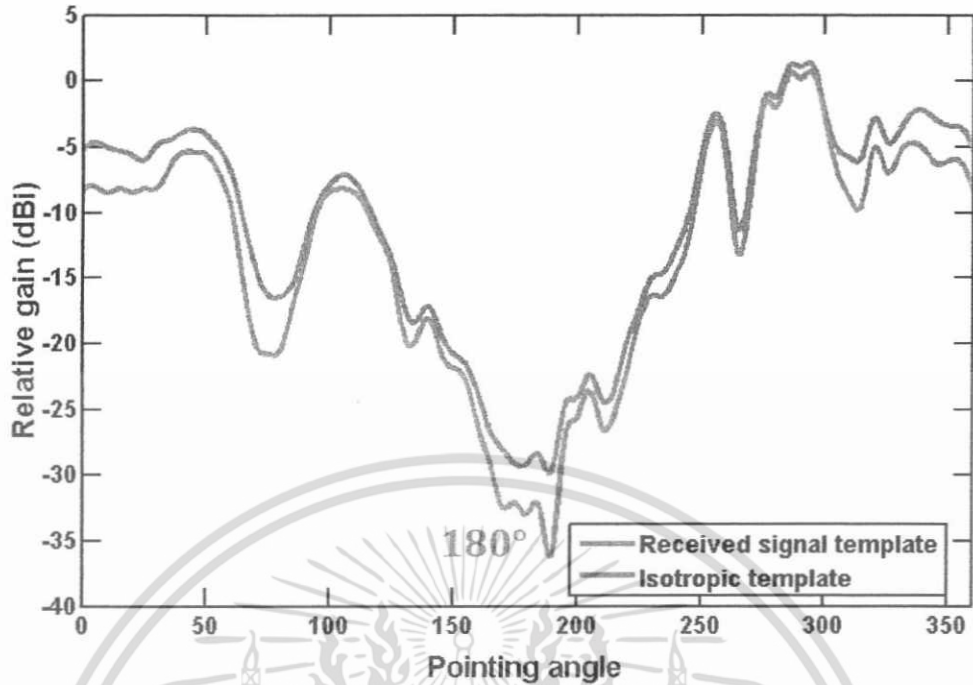
4.6.6 อัตราขยายการส่งผ่านสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง

ในการแสดงผลอัตราขยายการส่งผ่านสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งในแต่ละมุมของสายอากาศ ในกรณีสัญญาณที่รับได้เปรียบเทียบกับค่าอัตราขยายการส่งผ่านสัญญาณแบบไอโซทรอปิก ในกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์ และที่มีร่างกายมนุษย์ ดังแสดงในรูปที่ 4.23 และ 4.24 ตามลำดับ จากรูปที่ 4.23 แสดงให้เห็นถึงค่าอัตราขยายการส่งผ่านสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์ จะมีค่าเฉลี่ยสูงสุดตอบสนองที่มุม 0 องศา 180 องศา และ 360 องศา ซึ่งรวมถึงด้านข้างของสายอากาศ และจะมีค่าต่ำสุดที่มุม 90 องศา และ 270 องศา ซึ่งเกิดอันเนื่องมาจากคุณลักษณะรูปร่างของสายอากาศที่ทำให้ไม่สามารถรับได้ และจากรูปที่ 4.24 แสดงให้เห็นถึงค่าอัตราขยายในการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่งกรณีที่มีร่างกายมนุษย์ ค่าเฉลี่ยสูงสุดตอบสนองที่มุม 0 องศา 270 องศา และ 360 องศา ซึ่งรวมถึงด้านข้างของสายอากาศและจะมีค่าต่ำสุดที่มุม 180 องศา ซึ่งจะมีความแตกต่างกับในกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์เป็นอย่างมาก แสดงให้เห็นว่าร่างกายมนุษย์เข้ามาบดบังทิศทางการรับสัญญาณ ก็จะมีผลต่อคุณลักษณะของสายอากาศ ทำให้คุณลักษณะของสายอากาศเปลี่ยนแปลงไปอย่างเห็นได้ชัดทั้งทิศทางและกำลังในการรับสัญญาณ

ความแตกต่างระหว่างอัตราขยายการส่งผ่านของสัญญาณที่ใช้การสหสัมพันธ์ด้วยสัญญาณที่รับได้ และการสหสัมพันธ์ด้วยสัญญาณไอโซทรอปิกจะเป็นการระบุปริมาณความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นจากรูปที่ 4.23 ในกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์จะมีการผิดเพี้ยนของรูปคลื่นสัญญาณน้อย โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.93 dB และในรูปที่ 4.24 ในกรณีที่มีร่างกายมนุษย์ จะมีการผิดเพี้ยนของรูปคลื่นสัญญาณมากกว่ากรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์ โดยที่มุม 75 องศา 180 องศา และ 310 องศา จะมีการผิดเพี้ยนของคลื่นสูงสุด และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.8 dB ซึ่งจะเห็นว่าความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นสัญญาณนั้นยังอยู่ในเกณฑ์ที่รับได้ จึงสามารถนำสายอากาศมาใช้งานบนร่างกายมนุษย์ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 4.23 อัตราขยายการส่งผ่านของแถบกว้างยิ่งกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์ ซึ่งด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 อัตราขยายการส่งผ่านของแถบกว้างยิ่งกรณีที่มีร่างกายมนุษย์

4.7 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงขั้นตอนในการทดลองวัดช่องสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่งภายในสภาวะแวดล้อมที่อยู่ภายในห้องแบบจำลองในห้องไร้การสะท้อนของคลื่น โดยในแบบจำลองมีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งการวัดของสายอากาศด้านรับเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากตำแหน่งต่างๆในการวางสายอากาศด้านรับด้วย ในการวัดนั้นใช้เครื่องวิเคราะห์ที่โครงข่ายแบบเวกเตอร์เป็นอุปกรณ์ในการวัดในโดเมนความถี่เพื่อวิเคราะห์หาผลกระทบต่างๆที่เกิดจากสภาวะแวดล้อมดังกล่าว โดยใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ที่สามารถตอบสนองที่ความถี่ในช่วง 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ซึ่งเป็นช่วงความถี่ของแถบกว้างยิ่ง เป็นสายอากาศด้านส่ง และใช้แบบจำลองสัญญาณที่ใช้ส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมที่ผ่านการมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูดเพื่อวิเคราะห์ผลของช่องสัญญาณ ทางด้านรับใช้สายอากาศแบบเส้นคดเคี้ยว ติดกับร่างกายมนุษย์จะทำการหมุนที่ละ 5 องศา โดยทำการทดลองแบบที่มีร่างกายมนุษย์และแบบไม่มีร่างกายมนุษย์ โดยข้อมูลการวัดที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์และแสดงผลในพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องต่างๆ และในการแสดงผลการวัดและการวิเคราะห์ผลของสัญญาณได้บันทึกผลฟังก์ชันการถ่ายโอน ภาพหน้าตัดข้างการประวิงเวลากำลังงาน และอัตราขยายการส่งผ่านสัญญาณทางด้านรับได้ใช้เครื่องรับสหสัมพันธ์สองแบบมาเปรียบเทียบกับระหว่างสัญญาณที่รับได้กับสัญญาณไอโซทรอปิก โดยได้เปรียบเทียบในกรณีที่มีร่างกายมนุษย์และไม่มีร่างกายมนุษย์ จากผลการทดลองวิจัยและผลการวิเคราะห์ของระบบแถบกว้างยิ่งพบว่าร่างกายมนุษย์มีผลต่อคุณลักษณะของสายอากาศ ทำให้ทิศทางและกำลังงานที่รับได้มีการเปลี่ยนแปลงซึ่งเกิดจากการที่บดบังจากการแพร่กระจายของสัญญาณ และเกิดการผิดเพี้ยนของสัญญาณขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทสรุปงานวิจัยและแนวทางการวิจัยในอนาคต

5.1 กล่าวนำ

วิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาถึงคุณลักษณะของช่องสัญญาณวิทยุแบบแถบกว้างยิ่งร่วมกับผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ โดยอาศัยการตรวจสอบบนพื้นฐานการวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์โคร่งข่ายแบบเวกเตอร์ ซึ่งได้จำลองการวัดภายในห้องไร้การสะท้อนของคลื่น โดยใช้สายอากาศ 2 ชนิดในการทดสอบคือ สายอากาศแบบกรวยคู่และสายอากาศแบบเส้นคดเคี้ยวซึ่งเป็นสายอากาศที่ตอบสนองแถบความถี่สูงและมีขนาดเล็ก โดยการประยุกต์ใช้สูตรการส่งผ่านของฟรีสมาทำการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ อัตราขยายการส่งผ่านขนาดและเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านของช่องสัญญาณ สัญญาณที่รับได้ และเอาต์พุตของเครื่องรับสหสัมพันธ์ โดยทางด้านรับได้เสนอเครื่องรับสหสัมพันธ์สองแบบ คือ เครื่องรับสหสัมพันธ์ด้วยสัญญาณที่รับได้และเครื่องรับสหสัมพันธ์ด้วยสัญญาณไอโซทรอปิก โดยแสดงผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในเชิงมุมตั้งแต่ 0 องศาถึง 360 เปรียบเทียบในกรณีที่มีร่างกายมนุษย์ และไม่มีร่างกายมนุษย์

5.2 สรุปผลของการศึกษาทดลองวิจัย

จากการศึกษาเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งจะเห็นได้ว่าเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งเหมาะสำหรับนำมาใช้ในระบบการสื่อสารระยะใกล้หรือโคร่งข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลไร้สาย เนื่องจากเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งสามารถรองรับความต้องการของผู้ใช้งานและระบบมัลติมีเดียต่างๆที่จะถูกพัฒนาและนำมาใช้ในอนาคได้ แต่อย่างไรก็ตามการที่จะนำเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งมาใช้ในโคร่งข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ให้มีประสิทธิภาพ และประสบความสำเร็จนั้น ต้องทำการศึกษาและวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพการส่งผ่านของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง จึงเป็นที่มาของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เลือกใช้สูตรการส่งผ่านของฟรีสมาทำการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยทางด้านรับได้เสนอเครื่องรับสหสัมพันธ์สองแบบ คือ เครื่องรับสหสัมพันธ์ด้วยสัญญาณที่รับได้และเครื่องรับสหสัมพันธ์ด้วยสัญญาณไอโซทรอปิก

ส่วนที่ได้พิจารณาความผิดเพี้ยนของรูปคลื่น ผลต่างระหว่างการสหสัมพันธ์ที่สัญญาณรับได้และการสหสัมพันธ์ด้วยไอโซทรอปิกเป็นการวัดของความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นสัญญาณ

5.2.1 สรุปผลวิเคราะห์ช่องสัญญาณกรณีที่ไม่ได้ผลจากร่างกายมนุษย์

ในการตรวจสอบถึงคุณสมบัติของช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งในแบบจำลองการวัดภายในห้องไร้การสะท้อนของคลื่นโดยใช้สายอากาศ 2 ชนิดด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลการวัดในส่วนต่างๆ โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อแสดงถึงผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นต่อช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งในกรณีที่ไม่ได้ผลจากร่างกายมนุษย์ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ สรุปได้ว่า ขนาดและเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณ สัญญาณที่รับได้ และเอาต์พุตของเครื่องรับสหสัมพันธ์ด้วยสัญญาณที่รับได้ ที่มีมุม 90 องศา จะมีค่าต่ำเนื่องจากคุณลักษณะของสายอากาศ ในส่วนของภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานและอัตราขยายการส่งผ่านสัญญาณที่มีมุม 90 องศา และ 270 องศา จะมีค่าต่ำเนื่องจากคุณสมบัติของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

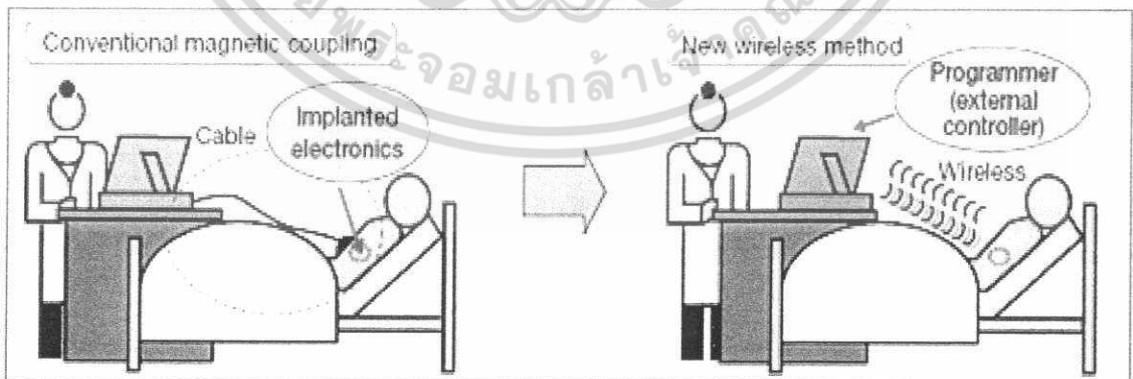
5.2.2 สรุปผลวิเคราะห์ช่องสัญญาณกรณีที่มีผลจากร่างกายมนุษย์

เมื่อพิจารณาผลการบดบังจากร่างกายมนุษย์ในมุมต่าง ๆ พบว่าร่างกายนมนุษย์ก็เป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อช่องสัญญาณ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเกิดการบดบังจากร่างกายมนุษย์หรือที่มุม 180 องศา จากการวัดจะเกิดผลการเปลี่ยนแปลงที่รุนแรงต่อช่องสัญญาณ ซึ่งส่งผลกระทบต่อขนาดและเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณ สัญญาณที่รับได้ เอกลักษณ์ของเครื่องรับสหมัมพันธ์ด้วยสัญญาณที่รับได้ ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน และอัตราขยายการส่งผ่านสัญญาณ ส่งผลให้คุณภาพของสัญญาณที่รับได้ลดลงอีกทั้งยังทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลงด้วยเช่นกัน

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการวิจัยในอนาคต

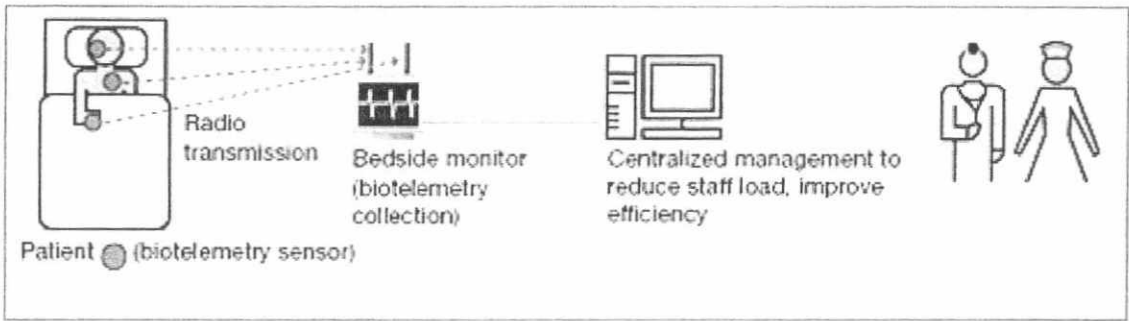
จากการศึกษาถึงคุณลักษณะของช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งในกรณีที่มีผลจากร่างกายมนุษย์ โดยการประยุกต์ใช้สูตรของฟรีสสำหรับแถบกว้างยิ่งในการพิจารณา ส่วนทางด้านเครื่องรับใช้เครื่องรับแบบสหมัมพันธ์ในการวิเคราะห์ โดยใช้คลื่นสัญญาณที่ส่งเป็นแบบแถบกว้างยิ่ง ตามข้อกำหนดของ FCC และได้ทำการทดลองวิจัยในห้องปฏิบัติการเรียบร้อยแล้ว การทดลองวิจัยในอนาคตจะพิจารณาวัดจริงในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร และโครงข่ายภายในบ้านพักอาศัย ตลอดจนวิธีการวิเคราะห์แบบใหม่ที่มีความเหมาะสมที่สุดทั้งในย่านความถี่แถบกว้าง และแถบแคบ และการใช้สายอากาศอื่นๆที่เล็ก และเหมาะสมกับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายนมนุษย์

การประยุกต์เอางานวิจัยไปพัฒนาในแนวทางอื่นๆ ได้ด้วยเช่น ระบบแถบกว้างยิ่งสำหรับการประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ไร้สาย จากรูปที่ 5.1 แบบเดิมมีการใช้สายเคเบิลทำให้ไม่สะดวก ไม่คล่องตัว ยุ่งยากในการตรวจรักษา หากเปลี่ยนเป็นระบบแบบไร้สายแล้วสามารถทำให้ผู้ป่วยมีความสะดวกสบายในการเคลื่อนที่ เคลื่อนไหวร่างกาย และคล่องตัวมากยิ่งขึ้น จากรูปที่ 5.2 ระบบการดูแลรักษาที่บ้าน โดยที่ตัวผู้ป่วยจะมีเซนเซอร์ และจะมีการส่งสัญญาณวิทยุไปยังเครื่องรับสัญญาณ ซึ่งเชื่อมต่อกับศูนย์กลางการจัดการ เพื่อลดบุคลากร หมอ พยาบาล และเป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานให้ดีขึ้น จากรูปที่ 5.3 การควบคุมการส่งกล้องแคปซูลจากภายนอก การควบคุมกล้องแคปซูลที่นำมาประยุกต์ใช้งานเพื่อตรวจรักษาอวัยวะภายในร่างกายนมนุษย์

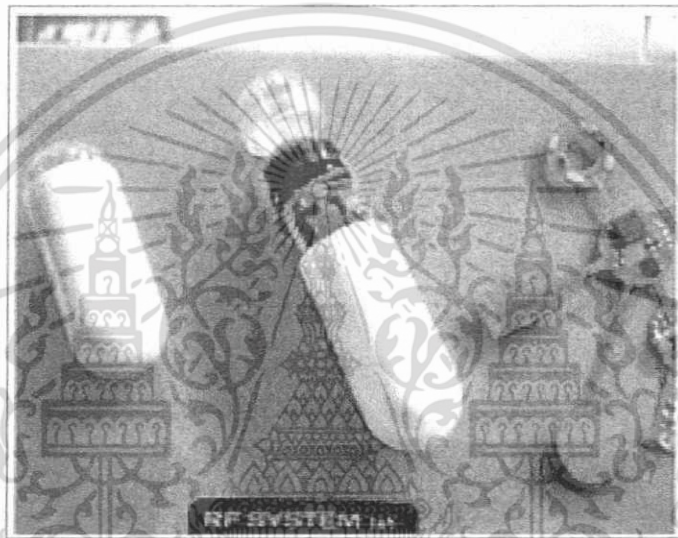


รูปที่ 5.1 การควบคุมวิทยุจากภายนอกแบบไร้สาย [23]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 Home monitoring system [23]



รูปที่ 5.3 การควบคุมการส่งคลื่นแคปซูลจากภายนอก [23]



รูปที่ 5.4 การแลกเปลี่ยนข้อมูลกับอุปกรณ์ที่ใช้สวมใส่เพื่อสุขภาพ [23]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] F. Nekoogar, "Ultra-Wideband Communications: Fundamentals and Applications," New Jersey: Prentice-Hall Inc., 2005.
- [2] P. Pagani, F. Talom, P. Pajusco, and B. Uguen, "Ultra WideBand Radio Propagation Channels," John Wiley & Sons, Ltd, 2008.
- [3] C. Heidari, "WiMedia UWB Technology of Choice for Wireless USB and Bluetooth," John Wiley & Sons, Ltd, 2008.
- [4] University of Virginia, INERTIA team associated Body Area Sensor Network (BASNs)
- [5] H.T. Friis, "A Note on a Simple Transmission Formula," Proc. IRE, vol. 34, no. 5, pp. 254-256, May 1946.
- [6] S. Promwong, W. Hachitani, and J. Takada, "Free Space Link Budget Evaluation of UWB-IR Systems," 2004 International Workshop on Ultra Wideband Systems Joint with Conference on Ultra Wideband Systems and Technology (Joint UWBST&IWUWBS2004), pp. 312-316, May 18-21, 2004.
- [7] Skycross, Inc., "3.1-10 GHz UWB Antenna for Commercial UWB Applications," <http://www.skycross.com/>
- [8] Federal Communications commission, "Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding Ultra-Wideband Transmission Systems," First report and Order, FCC 02-48, Apr. 2002.
- [9] H. Li, K. Yekeh Yazdandoost, and B. Zhen, "Wireless Body Area Network," October, 2010
- [10] M. Ghavami, L.B. Michael, and R. Kohno, "Ultra Wideband Signals and Systems in Communication Engineering," England: John Wiley & Sons Ltd, 2004
- [11] Ian O., Matti H, and Jari I, "UWB Theory and Applications," England: John Wiley & Sons Ltd, 2004.
- [12] J. Wang, "High-Speed Wireless Communications: Ultra-wideband, 3G Long Term Evolution, and 4G Mobile Systems," 2008
- [13] J. Takada, S. Promwong and W. Hachitani, "Extension of Friis' transmission formula for ultra-wideband systems," IEICE Tech. Rep., WBS2003 8/MW2003-20, May 2003.
- [14] J. Takada, "Static Propagation and Channel Models in Body Area," European Cooperation in the field of Scientific and Technical Research, Oct 6-8, 2008
- [15] Gemtek Technology Inc., UWB/Wireless USB Dongle WUWBD-101 WiMedia-based Ultra Wideband Product.. <http://www.gemtek.com/>
- [16] How to set up your home wireless network. <http://drtyhnds.blogspot.com/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

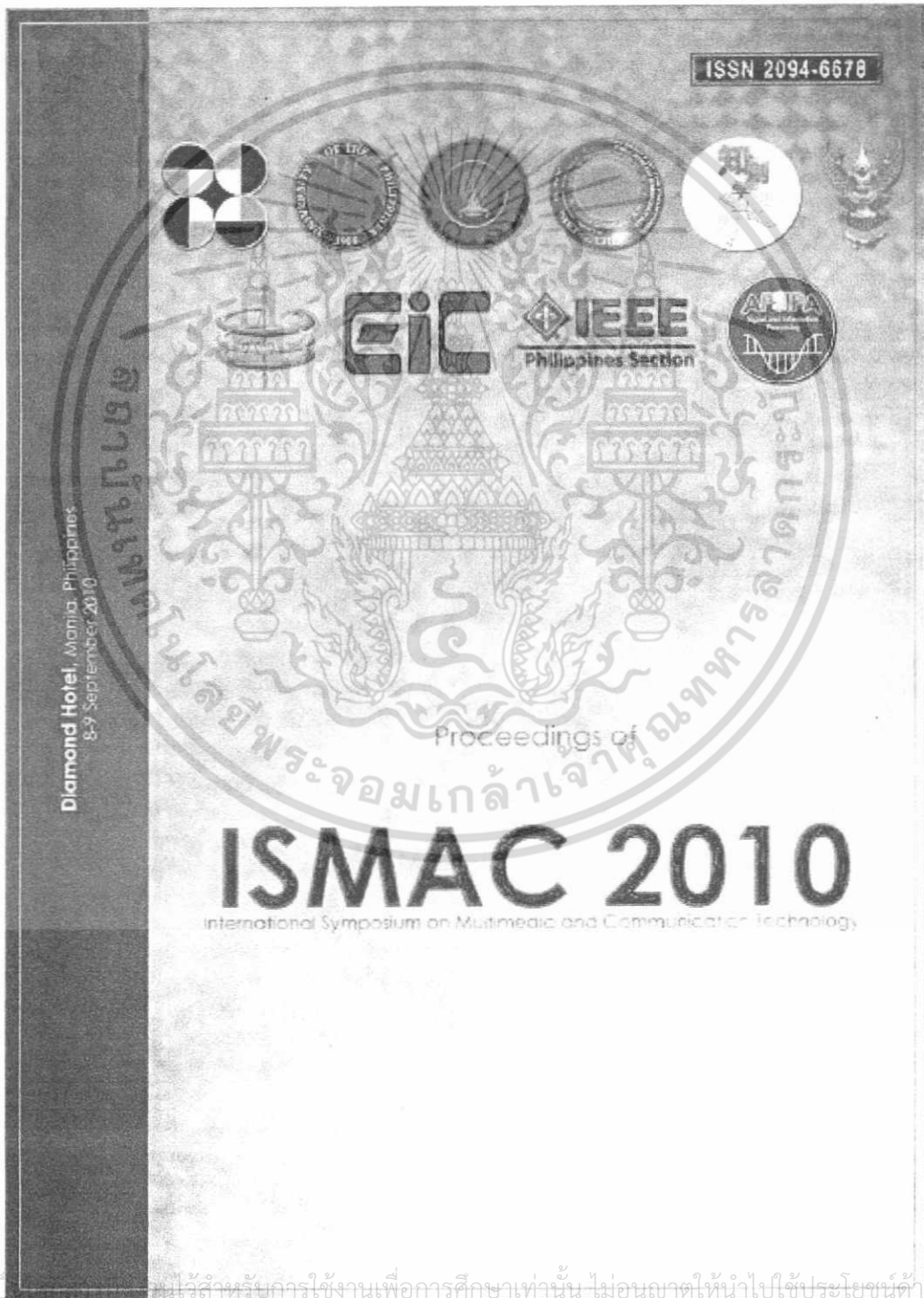
- [17] Flapping its Tailfin, “The New Capsule Features Multidirectional Movement,”
- [18] IT Times Industry & Technology Times, “WBAN architecture for ubiquitous health monitoring,”
- [19] T. Rappaport, “Wireless Communications: Principles and Practice,” 2nd Edition: Prentice Hall, 2001.
- [20] J. Takada, S. Promwong and W. Hachitani, “Experimental Evaluation Scheme of UWB Antenna Performance” 16 June, 2003
- [21] T. Sreewattanapong and S. Promwong, “Evaluation of Ultra wideband Impulse Radio Transmission Loss due to Laptop Computer,” MICC, Kuala Lumpur, Malaysia, 15-17 December. 2009.
- [22] P. Siripornnarachseema, S. Promwong, P. Supanakoon, R. Muanghlua and N. Sukutamanti, “The Effect of Laptop Computer Shadowing on UWB Propagation in an Indoor Environment,” ISCIT 12, Oct. 2005, pp.943-946
- [23] “Medical, Health Care Drive Wireless Innovations,” Jun 26, 2007



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก
บทความวิจัยที่ได้รับตีพิมพ์ในวิทยานิพนธ์

- [1] Yuwadee Rujiphacharakul, Sanit Teawchim and Sathaporn Promwong .
“Characterization of UWB Transmission Model with Human Body for Wireless Medical Applications” International Symposium on Multimedia and Communication technology (ISMAC), Philippines, 8-9 September 2010



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Characterization of UWB Transmission Model with Human Body for Wireless Medical Applications

Yuwadee Rujiphacharakul[†] Sanit Teawchim^{††} and Sathaporn Promwong^{††}

[†] Department of Information Engineering,

^{††} Department of Telecommunication Engineering,

Faculty of Engineering,

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.

E-mail: ktsanit, kpsathap@kmitl.ac.th

Abstract—This paper presents the characterization of ultra wideband transmission with human body for wireless medical applications. The template waveform is considered at the receiver side to maximize the SNR for evaluation. The results are used to evaluate the transmission gain based on the extended Friis' transmission formula. This technique gives very accurate results and is very useful for the design and evaluation of UWB transmission systems wireless medical, especially for the evaluation of waveform distortion effects.

I. INTRODUCTION

The ultra wideband (UWB) technology have attracted a great deal of attention because of its potentiality for application to short-range high-speed mobile communications, ultra low-power communications, and so on. In order to minimize the interference with existent systems, the UWB is expected to be mainly used in indoor environments such as wireless personal area networks.

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 the transmitter and the receiver is not significant because of the distortion of the waveform caused by the frequency response of the antenna.

In this paper, we investigate the effects of human body on UWB transmission. 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 correlation receiver are key for the extension of the Friis' formula to UWB systems. An experiment is carried out using broadband antennas for UWB operation in an anechoic chamber.

II. THEORY OF UWB TRANSMISSION MODEL

A. UWB Transmission Analysis

UWB impulse radio transmission systems have attracted a great deal of attention because of its potential applications on short-range, high-speed, and low-power wireless communications network. In order to minimize the interference with existing systems, UWB is expected to be mainly used in indoor wideband environments.

In this study, we focus on the experimental evaluation of UWB transmission with human body for wireless medical applications.

In narrowband systems, the link budget of the free space transmission loss is usually estimated by using Friis' transmission formula [1]. However, it is not directly applicable to the UWB-IR transmission system, as the formula is expressed as a function of the frequency. Moreover, the waveform may be distorted due to the frequency characteristics of the antenna. Ref. [2] treats the special cases of the constant gain and the constant aperture, but no general discussion had been made although it suggested the use of the time-domain antenna effective length.

The Friis' transmission formula [1] has been widely used, and can be applied to the calculation of these LOS channels.

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

where G_r and G_t are Rx and Tx antenna gain,

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

is the free space propagation gain (less than unity in practice), $\lambda = \frac{c}{f}$ is the wavelength, c is the velocity of the light, f is the operating frequency, and d is the separation between transmitter and receiver antennas.

It is noted, however, that Eq. (1) is satisfied only at some certain frequency, and is not directly applicable to UWB systems. The Friis' transmission formula shall be extended to take into account the transmission signal waveform and its distortion as well [3].

Input signal $v_i(t)$ at the transmitter port is expressed as the convolution of an impulse input and the pulse shaping filter $h_i(t)$ as

$$v_i(t) = E_i \delta(t) * h_i(t), \quad (3)$$

where

$$\int_{-\infty}^{\infty} h_i^2(t) dt = \int_{-\infty}^{\infty} |H_i(f)|^2 df = 1. \quad (4)$$

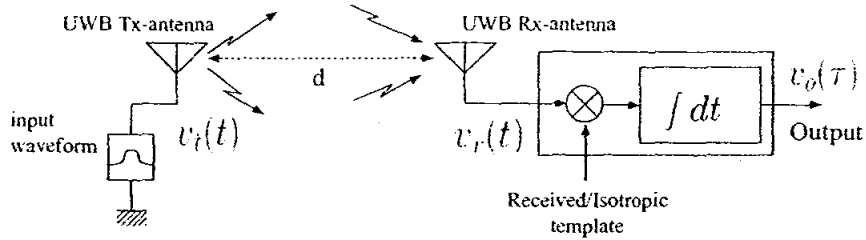


Fig. 1. Block diagram of Transmission model for UWB signal.

Friis' formula is extended taking into account the transmission waveform as

$$H_{e\text{-Friis}}(f) = \frac{V_r(f)}{E_i} = H_t H_i H_r \cdot H_{t_r}, \quad (5)$$

where

$$\begin{aligned} \mathbf{H}_a &= \mathbf{H}_a(\theta_a, \varphi_a, f) \\ &= \hat{\theta}_a H_{a\theta}(\theta_a, \varphi_a, f) + \hat{\varphi}_a H_{a\varphi}(\theta_a, \varphi_a, f). \quad (6) \\ a &= r \text{ or } t, \end{aligned}$$

is a complex transfer function vector of the antenna relative to the isotropic antenna,

$$H_r = \frac{\lambda}{4\pi d} \exp(-jkd), \quad (7)$$

is the free space transfer function where

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}, \quad (8)$$

is the propagation constant.

B. 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

$$v_o(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v_r(t) h_w(t - \tau) dt, \quad (9)$$

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

$$\tau_o = \arg \max_{\tau} v_o(\tau). \quad (10)$$

Hereafter $h_w(t)$ is normalized as

$$\int_{-\infty}^{\infty} |h_w(t)|^2 dt = 2B, \quad (11)$$

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

Under the constraint of Eq. (11), $h_{wm}(t)$ maximizes $v_o(\tau_o)$ when $h_{wm}(t)$ is a time-reversed and scaled version of $v_r(t)$, i.e.

$$h_{wm}(t) = \frac{\sqrt{2B} v_r(\tau_o - t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |v_r(t)|^2 dt}}, \quad (12)$$

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 optimum template waveform hereafter. It is noted that the link budget evaluation is identical to that when $h_{wm}(t)$ is used as the receiver template.

C. Isotropic Correlation Receiver

It is obvious from Eq. (12) that the optimum template waveform is not the simple time-reversed version of the transmitter waveform, but the channel characteristics including the antennas and the free space propagation. Therefore, it is not always feasible to adapt the template waveform to the angular-dependent antenna characteristics, since the waveform shall be generated at the clock rate of tens of gigahertz. Therefore, we consider a canonical template waveform $h_{wc}(t)$. In this paper we have chosen $h_{wc}(t)$ that is optimum for the isotropic and the constant gain antennas, i.e.

$$h_{wc}(t) = \frac{\sqrt{2B} v_{r\text{-iso}}(\tau_o - t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |v_{r\text{-iso}}(t)|^2 dt}}, \quad (13)$$

where

$$v_{r\text{-iso}}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} H_r(f) V_r(f) \exp(j2\pi ft) df \quad (14)$$

is the receiver input voltage for isotropic antenna including. The difference between the optimum and the isotropic templates indicates quantitatively the distortion of the waveform.

III. ULTRA-WIDEBAND EXPERIMENT SYSTEMS

A. Experiment scheme

By using the vector network analyzer (VNA), complex transfer functions can be measured [4]. However, this transfer function is a product of transfer functions of Tx and Rx antennas as well as the free space channel.

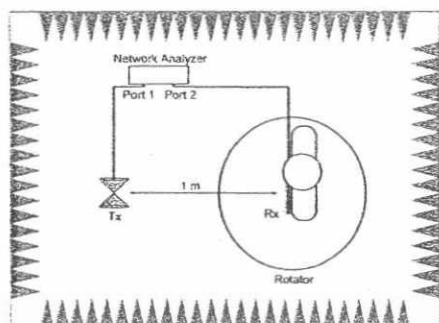


Fig. 2. The instrument setup.

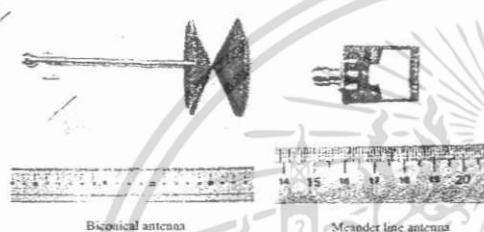


Fig. 3. Ultra Wideband antennas.

B. Instrument setup

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. The measurement was done in an anechoic chamber. Both Tx and Rx antennas were fixed at the height of 1.74 m and separated by a distance of 1 m. The setup is sketched in Fig. 2. S_{21} measures the transfer function between Tx and Rx antennas. The Tx antenna is fixed at pointing angle 0° and the Rx antenna is rotated from pointing angle 0° to 360° with each step at 5° .

In this study, we considered a broadband antenna that was suitable for the operation with pulsed waveforms. The structure of the UWB antennas is shown in Fig. 3 the Tx antenna is a biconical antenna with maximum diameter of 65.3 mm and length of 37 mm used as the standard antenna [5] and the Rx antenna is a commercial, small-size, low profile antenna developed by Skycross Lnc.,(USA) [6] used as the AUT.

C. Parameters of experiments

The important parameters for the experiments are listed in Table I. It is noted that calibration is done at the connectors of the cables to be connected to the antennas. Therefore, all impairments of the antenna characteristics are included in the measured results.

D. Signal model

The effect of the waveform distortion is more obvious when the bandwidth is wider. We considered the impulse radio

TABLE I
EXPERIMENTAL SETUP PARAMETERS.

Parameter	Value
Frequency range	3 GHz to 11 GHz
Number of frequency points	1601
Dynamic power range	80 dB
Tx antenna height	1.74 m
Rx antenna height	1.74 m
Distance between Tx and Rx	4 m
Rx rotate range	0° to 360°
Rx rotate step	5°

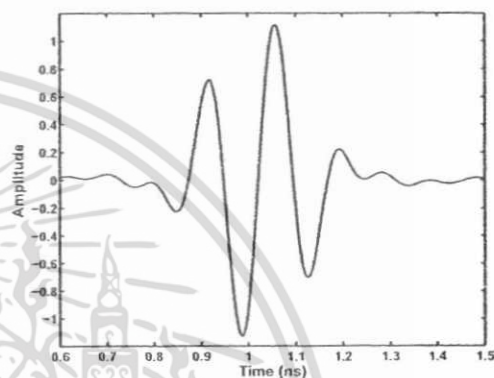


Fig. 4. The transmission waveform of UWB signal.

signal that fully covers the FCC band 3.1 ~ 10.6 GHz. The center frequency and the bandwidth were therefore set to be $f_0 = 6.85$ GHz and $f_b = 7.5$ GHz, respectively. The transmit waveform assumed in the simulation was a single ASK pulse with the carrier frequency f_0 . To satisfy the bandwidth requirement of f_b , the pulse length was set to be $\frac{2}{f_b}$. Then the signal was band-limited by a Nyquist roll-off filter with roll-off factor $\alpha = 0$ (rectangular window) and passband $\left(f_0 - \frac{f_b}{2}, f_0 + \frac{f_b}{2}\right)$. Figure 4 shows the transmit pulse waveform. The transmission process of the pulse waveform is simulated based on the measured transfer function of the antennas.

IV. EXAMPLE RESULTS AND DISCUSSION

This section, describes the graphical compilation of the experiment results.

Figure 5 shows the magnitude of the measured antenna transfer function and its phase is also shown in Fig. 6. We can particularly see the frequency characteristic of the antenna transfer function at each pointing angle. As the AUT is the broadband biconical antenna, the ideal linear phase is almost realized, except for the null directions, which change with frequency.

The UWB signal shown in Fig. 4 is used as the transmission waveform. The received waveforms at the output of the correlation receiver is evaluated.

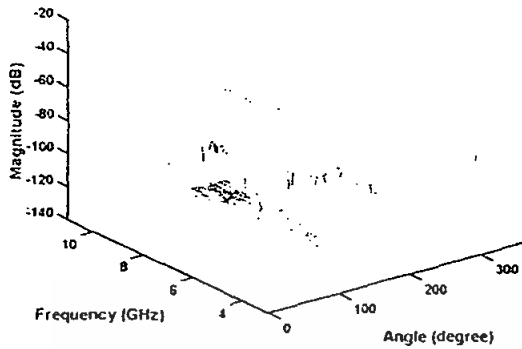


Fig. 5. Antenna transfer function: magnitude.

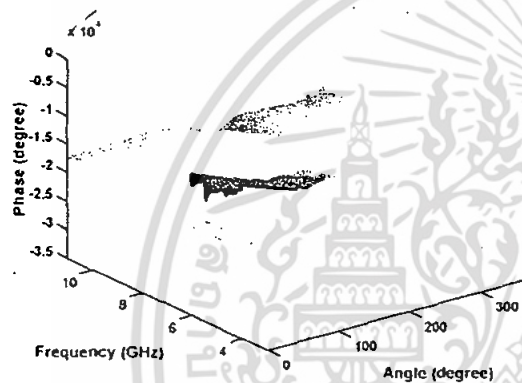


Fig. 6. Antenna transfer function: phase.

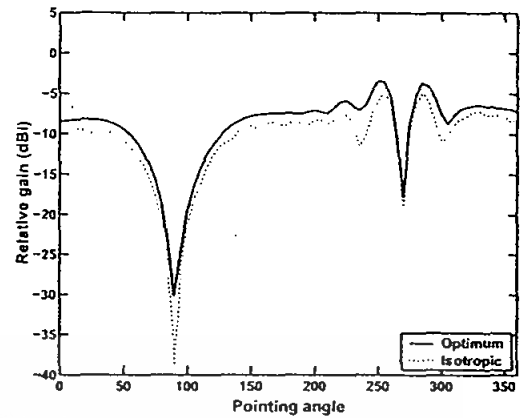


Fig. 7. UWB transmission gain without human body.

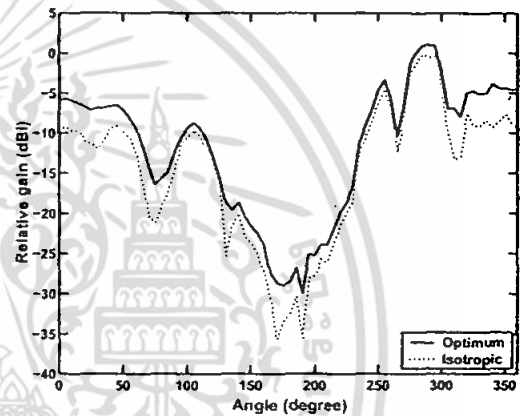


Fig. 8. UWB transmission gain with human body.

Figures 7 and 8 shows the comparison of UWB transmission gain versus antenna pointing angle that uses the optimum and isotropic receiver for without human body (free space) and with human body. In the without human body case, the peaks are found at 0° to 180° , and 360° pointing angles which corresponds to the broadside of the antenna. The nulls are observed at 90° and 270° pointing angles. For with human body case, the peaks are found at 0° to 270° , and 360° pointing angles which corresponds to the broadside of the antenna. The nulls are observed at 180° pointing angles.

V. CONCLUSION

The characterization of ultra wideband transmission with human body for wireless medical using an extension of Friis' transmission formula in order to take into account the transmit waveform and the template waveform into the system. The experimental examples using the biconical antenna as the transmitter and the mander line antenna as the receiver are presented. This scheme may be effective especially to evaluate the deployable antenna with non-ideal frequency characteristics of return loss and directivity, as the overall performance

can be evaluated only by the term of the UWB-IR transmission gain. The formulation presented in a special case for the optimum template waveform in this paper.

REFERENCES

- [1] H.T. Friis, "A Note on a Simple Transmission Formula," *Proc. IRE*, vol. 34, no. 5, pp. 254-256, May 1946.
- [2] 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.
- [3] J. Takada, S. Promwong and W. Hachitani, "Extension of Friis' Transmission Formula for Ultra-Wideband Systems," *IEICE Tech. Rep., WBS2003-8/MTW2003-20*, May 2003.
- [4] S. Promwong, J. Takada, P. Supanakool, and P. Tangtisanon, "Experimental Study on the Applicability of the Complex Form Friis' Transmission Formula in Fresnel Region for UWB Free Space Channel Model," *2004 International Symposium on Antennas and Propagation*, August 17-21, 2004. (to be presented)
- [5] S. Promwong and W. Hachitani, and J. Takada, "Free Space Link Budget Evaluation of UWB-IR Systems," *2004 International Workshop on Ultra Wideband Systems Joint with Conference on Ultra Wideband Systems and Technology (Joint UWBS&UWBS2004)*, pp. 312-316, May 18-21, 2004.
- [6] Skycross, Inc., "3.1-10 GHz UWB Antenna for Commercial UWB Applications" <http://www.skycross.com/>

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวยุวดี รุจิพัชรกุล
วัน เดือน ปีเกิด	30 กันยายน 2524 ที่จังหวัด สงขลา
ที่อยู่	2/133 ซอย พหลโยธิน 14 ถนน พหลโยธิน แขวง สามเสนใน เขต พญาไท จังหวัด กรุงเทพฯ 10400
ประวัติการศึกษา	2546 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ.2547 - ปัจจุบัน	ตำแหน่ง Engineer Specialist บริษัทแอดวานซ์ อินโฟร์ เซอร์วิส จำกัด (มหาชน) - Implement project RTBS – Real time billing system - Implement project VPN, OCS, BOS, RBT, GFEP - Support new solution for prepaid customer
ผลงานวิจัย	“Characterization of UWB Transmission Model with Human Body for Wireless Medical Applications,” International Symposium on Multimedia and Communication technology (ISMAC), Philippines, 8-9 September 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้