

การวัดช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งที่แถบความถี่ต่ำ
สำหรับโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์

A LOW BAND UWB CHANNEL MEASUREMENT FOR BODY AREA NETWORK



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2557

KMITL-2014-EN-M-010-164

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A LOW BAND UWB CHANNEL MEASUREMENT FOR BODY AREA NETWORK



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL-2014-EN-M-010-164



COPYRIGHT 2014

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวัดช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งที่แถบความถี่ต่ำสำหรับโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์
Thesis Title A Low Band UWB Channel Measurement for Body Area Network
นักศึกษา นางสาวสิริรา เตชาพันธุ์กุล
รหัสประจำตัว 55611903
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.สถาพร พรหมวงศ์
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2014-EN-M-010-164

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ยุทธพงษ์	รังสรรค์เสรี	
ผศ.ดร.พิชญ	สุพรรณกุล	
ศ.ดร.โกสินทร์	จ่านงไทย	
ผศ.ดร.สุทธิชัย	นพนาศิพงษ์	
ดร.สถาพร	พรหมวงศ์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 19 พฤษภาคม พ.ศ. 2557 เวลา 08.30-10.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 3

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว


(ศาสตราจารย์ ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา วันที่ 19 พฤษภาคม พ.ศ. 2557
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวัดช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งที่แถบความถี่ต่ำสำหรับโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์
นักศึกษา	นางสาวสิรรา เตชาพันธุ์กุล
รหัสประจำตัว	55611903
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2557
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร.สถาพร พรหมวงศ์

บทคัดย่อ

ปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง เนื่องจากมีแถบความถี่ที่กว้าง และใช้กำลังงานต่ำ ซึ่งเทคโนโลยีนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ได้เป็นอย่างดี เทคโนโลยีดังกล่าวเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมทางการแพทย์ที่ใช้ตรวจสอบสถานะทางสุขภาพของผู้ป่วย ซึ่งข้อมูลทางสุขภาพจะได้รับการวัดจากโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ แต่การนำเทคโนโลยีนี้มาใช้งานจริงนั้นประสิทธิภาพของระบบอาจถูกลดทอนลงได้ เนื่องจากปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อช่องสัญญาณในการสื่อสารข้อมูล ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้ศึกษาการวัดช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งที่แถบความถี่ต่ำสำหรับโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ ซึ่งเป็นช่วงความถี่ที่เหมาะสมกับการใช้งานบนร่างกายมนุษย์ ผลที่ได้จากการวัดได้ทำการประเมินผลบนพื้นฐานการส่งผ่านของฟรีส และพิจารณาลักษณะการวางสายอากาศที่แตกต่างกันระหว่างการวางสายอากาศทั้งทางด้านรับและด้านส่งแบบแนวตั้งกับแนวตั้งและแนวนอนกับแนวนอน เพื่อประเมินผลการวัดฟังก์ชันการถ่ายโอนและการสูญเสียเชิงวิถีของช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่ง ซึ่งผลที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้และพัฒนาอุปกรณ์สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งเพื่อการพิจารณาใช้ในทางการแพทย์สำหรับโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ทั้งเพศชายและเพศหญิงให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้นเพื่อการพัฒนาต่อไปในอนาคต

Thesis	A Low Band UWB Channel Measurement for Body Area Network
Student	Miss Siwara Dechapankul
Student ID	55611903
Degree	Master of Engineering
Program	Telecommunications Engineering
Year	2014
Thesis Advisor	Dr. Sathaporn Promwong

ABSTRACT

Currently, wireless communication technology becomes greatly popular especially Ultra wideband (UWB) since its bandwidth is extremely wide and UWB consumes tremendously low power. This technology can be applied properly with Wireless body area network (WBAN) which aims to monitor patients' status. The information of human's body will be transferred to electronic equipments in a doctor room by real-time. In realistic, however, the performance of this technology may be distorted due to the fact that many factors possibly affect the signal of UWB communication channel. As a result, this research studies on measurement of ultra wideband channel at low bandwidth for WBAN where suitable frequency is available for operating on human body using Friis' transmission formula and also consider the posture of antenna between vertical-vertical and horizontal-horizontal at transmitter and receiver in order to evaluate transfer function and path loss of UWB. The result of this thesis can be applied to develop the medical equipments on UWB for WBAN for both male and female in the future.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงด้วยดีได้นั้นเนื่องด้วย ดร.สถาพร พรหมวงศ์ ที่ได้ช่วย
อบรมสั่งสอนวิชาความรู้ด้วยความมานะ มุ่งมั่น และความหวังดีที่จะให้เกิดประโยชน์สูงสุด

และขอขอบพระคุณท่านคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อันได้แก่ รศ.ดร.ยุทธพงษ์ รังสรรค์เสรี
ผศ.ดร.พิชญ์ สุพรรณกุล ศ.ดร.โกสินทร์ จันทไทย และผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาศิพงษ์ ที่ได้ช่วยแนะนำและ
ให้ความรู้เพิ่มเติมอย่างดียิ่ง

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้โอกาสแก่ข้าพเจ้าในการ
ได้เข้ามาศึกษาหาความรู้และประสบการณ์จากที่นี่ ขอขอบคุณทุกคำแนะนำ ทุกกำลังใจ คำปรึกษา
ความหวังดี และความเอื้ออาทรต่อกัน ของรุ่นพี่ เพื่อน รุ่นน้อง และทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือโดยตลอด

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบุพการีผู้มีพระคุณอันประเสริฐสุด รวมทั้งครอบครัวอัน
อบอุ่นของข้าพเจ้า ที่ให้กำลังใจเป็นแรงผลักดันให้ข้าพเจ้าได้ประสบความสำเร็จ

ประโยชน์อันใดที่พึงมีอันเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่บุพการี ครูบาอาจารย์
และผู้มีพระคุณทุกท่าน หากมีสิ่งใดที่เป็นความบกพร่องหรือผิดพลาดอันเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
ข้าพเจ้าขอน้อมรับความบกพร่องและผิดพลาดเอาไว้แต่เพียงผู้เดียว

สิวรา เตชาพันธุ์กุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	3
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 เทคโนโลยีการสื่อสารแลบกว้างยิ่ง.....	5
2.2 ประวัติและความเป็นมาเทคโนโลยีแลบกว้างยิ่ง.....	7
2.3 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเทคโนโลยีการสื่อสารแลบกว้างยิ่ง.....	8
2.3.1 นิยามและข้อกำหนดเกี่ยวกับเทคโนโลยีการสื่อสารแลบกว้างยิ่ง.....	8
2.3.2 ข้อเปรียบเทียบระหว่างเทคโนโลยีแลบกว้างยิ่งกับเทคโนโลยีแลบความถี่แคบ.....	10
2.3.3 ข้อดีของเทคโนโลยีแลบกว้างยิ่ง.....	10
2.3.4 การประยุกต์ใช้งานของเทคโนโลยีแลบกว้างยิ่ง.....	11
2.4 โครงข่ายบนร่างกายมนุษย์.....	13
2.5 ทฤษฎีการส่งผ่านของฟรีสสำหรับแลบกว้างยิ่ง.....	15
2.6 ระบบในการทดสอบช่องสัญญาณ.....	16
2.6.1 การทดสอบช่องสัญญาณในโดเมนความถี่.....	16
2.6.2 การทดสอบช่องสัญญาณในโดเมนเวลา.....	17
2.6.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	18
2.6.3.1 สัมประสิทธิ์การส่งผ่านช่องสัญญาณ.....	18
2.6.3.2 ผลตอบสนองความถี่ของช่องสัญญาณ.....	20
2.6.3.3 ผลตอบสนองอิมพัลส์ของช่องสัญญาณ.....	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.7 สัญญาณรับแบบแถบกว้างยิ่ง.....	22
2.8 การจำลองการสูญเสียเชิงวิถี.....	22
2.9 การสูญเสียกำลังงาน.....	24
บทที่ 3 แบบแผนการทดลองวิจัย.....	25
3.1 การออกแบบจำลองการวัดช่องสัญญาณ.....	25
3.1.1 รูปแบบของการวัดผลการทดลอง.....	25
3.1.1.1 แบบจำลองการวางสายอากาศด้านรับและด้านส่งแบบแนวตั้งกับแนวตั้ง.....	25
3.1.1.2 แบบจำลองการวางสายอากาศด้านรับและด้านส่งแบบแนวนอนกับแนวนอน.....	26
3.1.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง.....	28
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	28
3.2.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์.....	28
3.2.2 สายอากาศ.....	29
3.2.2.1 สายอากาศแบบเส้นตัวนำคดเคี้ยว.....	30
3.3 รูปคลื่นสัญญาณที่ใช้ในการส่ง.....	31
3.4 ขั้นตอนการทดลอง.....	32
3.4.1 ขั้นตอนการวัดการวางสายอากาศด้านรับและด้านส่งแบบแนวตั้งกับแนวตั้ง.....	32
3.4.2 ขั้นตอนการวัดการวางสายอากาศด้านรับและด้านส่งแบบแนวนอนกับแนวนอน.....	33
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	34
4.1 ผลการทดลองการสูญเสียเชิงวิถี.....	34
4.1.1 การสูญเสียเชิงวิถีกรณีพิเศษชาย.....	34
4.1.2 การสูญเสียเชิงวิถีกรณีพิเศษหญิง.....	38
4.2 ผลการทดลองขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนสัญญาณและเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนสัญญาณ.....	42
4.2.1 ขนาดและเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณกรณีพิเศษชาย.....	42
4.2.2 ขนาดและเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณกรณีพิเศษหญิง.....	45
4.3 ผลการทดลองรูปคลื่นสัญญาณที่รับได้.....	48
4.3.1 รูปคลื่นสัญญาณที่รับได้กรณีพิเศษชาย.....	48
4.3.2 รูปคลื่นสัญญาณที่รับได้กรณีพิเศษหญิง.....	50

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	52
5.1 สรุปผลการวิเคราะห์ผลกระทบต่อช่องสัญญาณ.....	52
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับแนวทางการศึกษาวิจัยในอนาคต.....	53
เอกสารอ้างอิง.....	54
ภาคผนวก ผลงานวิจัยที่ได้นำเสนอในงานประชุมวิชาการนานาชาติ.....	56
ประวัติผู้เขียน.....	63



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 พารามิเตอร์สำหรับการทดลองกรณีการวางสายอากาศด้านรับและด้านส่งเป็นแบบแนวตั้งกับแนวตั้งและแบบแนวนอนกับแนวนอน.....	28
4.1 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีของการวางสายอากาศแบบ V-V และ H-H กรณีเพศชาย.....	37
4.2 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีของการวางสายอากาศแบบ V-V และ H-H กรณีเพศหญิง.....	41



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์.....1
1.2	บล็อกไดอะแกรมการส่งผ่านของฟรีสสำหรับแถบกว้างยิ่ง.....4
2.1	เปรียบเทียบช่วงความถี่ระหว่างแถบกว้างยิ่งและแถบความถี่อื่นๆ.....5
2.2	เปรียบเทียบลักษณะสัญญาณการสื่อสารระหว่างเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งและเทคโนโลยีที่ใช้แถบความถี่แคบทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่.....7
2.3	ช่วงสเปกตรัมของความถี่เปรียบเทียบกับระดับพลังงานสำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารแถบกว้างยิ่งภายในอาคาร.....9
2.4	การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์สำหรับเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง.....12
2.5	การเชื่อมต่อโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์.....13
2.6	เปรียบเทียบช่วงการสื่อสารของเทคโนโลยีไร้สาย.....14
2.7	ระบบการทดสอบช่องสัญญาณในโดเมนความถี่โดยเครื่องวิเคราะห์วงจรขยายแบบเวกเตอร์และการแปลงฟูริเยร์เร็วผกผันในโดเมนเวลา.....17
2.8	การทดสอบช่องสัญญาณในโดเมนเวลา.....17
2.9	บล็อกไดอะแกรมโครงข่ายแบบ 2 พอร์ต.....18
2.10	บล็อกไดอะแกรมของการวิเคราะห์การถ่ายโอนระบบ.....20
2.11	ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของระบบในโดเมนความถี่.....21
2.12	ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของระบบในโดเมนเวลา.....22
3.1	แบบจำลองการวัดโดยการวางสายอากาศในลักษณะแนวตั้งกับแนวตั้ง.....25
3.2	การวัดจริงโดยการวางสายอากาศในลักษณะแนวตั้งกับแนวตั้งกรณีเพศชาย.....26
3.3	การวัดจริงโดยการวางสายอากาศในลักษณะแนวตั้งกับแนวตั้งกรณีเพศหญิง.....26
3.4	แบบจำลองการวัดโดยการวางสายอากาศในลักษณะแนวนอนกับแนวนอน.....27
3.5	การวัดจริงโดยการวางสายอากาศในลักษณะแนวนอนกับแนวนอนกรณีเพศชาย.....27
3.6	การวัดจริงโดยการวางสายอากาศในลักษณะแนวนอนกับแนวนอนกรณีเพศหญิง.....28
3.7	เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์.....29
3.8	สายอากาศแบบเส้นตัวนำคดเคี้ยว.....30
3.9	รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ.....30
3.10	สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศแบบเส้นตัวนำคดเคี้ยว.....31
3.11	รูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมในโดเมนเวลา.....32
3.12	สเปกตรัมของสัญญาณที่ใช้ในการส่ง.....32
3.13	สภาวะแวดล้อมจริงในการวัดช่องสัญญาณบนร่างกายมนุษย์.....33
4.1	การสูญเสียเชิงวิถีแบบจำลองการวางสายอากาศแบบ V-V และ H-H แถวที่ A (ชาย).....34

สารบัญรูป (ต่อ)

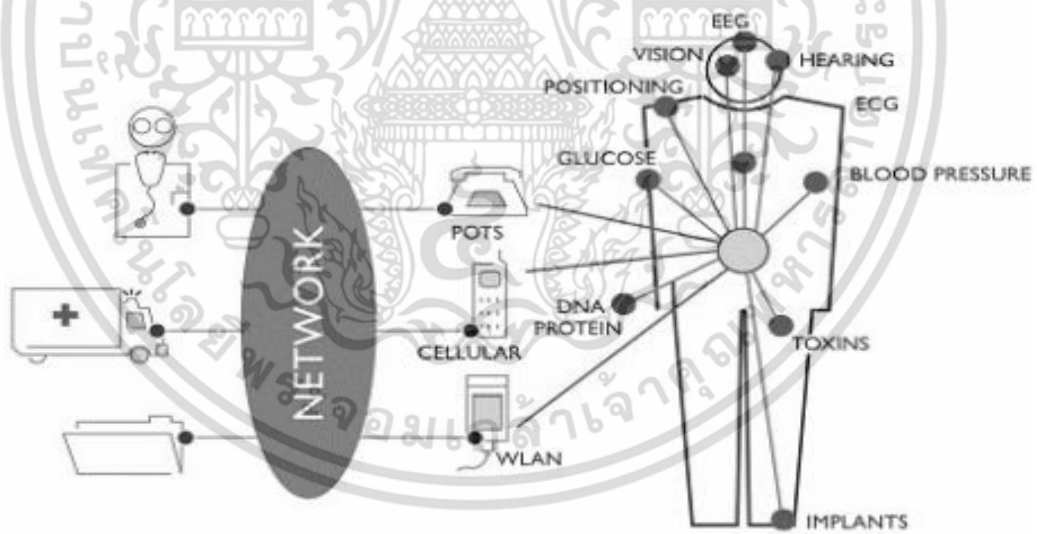
รูปที่	หน้า
4.2	ค่าการสูญเสียเชิงวิธีแบบจำลองการวางสายอากาศ V-V และ H-H แถวที่ B (ชาย).....35
4.3	ค่าการสูญเสียเชิงวิธีแบบจำลองการวางสายอากาศ V-V และ H-H แถวที่ C (ชาย).....35
4.4	ค่าการสูญเสียเชิงวิธีแบบจำลองการวางสายอากาศ V-V และ H-H แถวที่ D (ชาย).....36
4.5	ค่าการสูญเสียเชิงวิธีแบบจำลองการวางสายอากาศ V-V และ H-H แถวที่ E (ชาย).....36
4.6	ค่าการสูญเสียเชิงวิธีแบบจำลองการวางสายอากาศ V-V และ H-H แถวที่ A (หญิง).....38
4.7	ค่าการสูญเสียเชิงวิธีแบบจำลองการวางสายอากาศ V-V และ H-H แถวที่ B (หญิง).....39
4.8	ค่าการสูญเสียเชิงวิธีแบบจำลองการวางสายอากาศ V-V และ H-H แถวที่ C (หญิง).....39
4.9	ค่าการสูญเสียเชิงวิธีแบบจำลองการวางสายอากาศ V-V และ H-H แถวที่ D (หญิง).....40
4.10	ค่าการสูญเสียเชิงวิธีแบบจำลองการวางสายอากาศ V-V และ H-H แถวที่ E (หญิง).....40
4.11	ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของการวางสายอากาศ V-V และ H-H ตำแหน่ง A5 (ชาย)....43
4.12	ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของการวางสายอากาศ V-V และ H-H ตำแหน่ง B5 (ชาย)....43
4.13	ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของการวางสายอากาศ V-V และ H-H ตำแหน่ง C5 (ชาย)....44
4.14	ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของการวางสายอากาศ V-V และ H-H ตำแหน่ง D5 (ชาย)....44
4.15	ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของการวางสายอากาศ V-V และ H-H ตำแหน่ง E5 (ชาย)....45
4.16	ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของการวางสายอากาศ V-V และ H-H ตำแหน่ง A5 (หญิง)....46
4.17	ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของการวางสายอากาศ V-V และ H-H ตำแหน่ง B5 (หญิง)....46
4.18	ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของการวางสายอากาศ V-V และ H-H ตำแหน่ง C5 (หญิง)....47
4.19	ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของการวางสายอากาศ V-V และ H-H ตำแหน่ง D5 (หญิง)....47
4.20	ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของการวางสายอากาศ V-V และ H-H ตำแหน่ง E5 (หญิง)....48
4.21	ยกตัวอย่างเปรียบเทียบรูปคลื่นสัญญาณที่รับได้การวางสายอากาศแบบ V-V และ H-H ที่ตำแหน่ง A1 กรณีเพศชาย.....49
4.22	ยกตัวอย่างเปรียบเทียบรูปคลื่นสัญญาณที่รับได้การวางสายอากาศแบบ V-V และ H-H ที่ตำแหน่ง E5 กรณีเพศชาย.....49
4.23	ยกตัวอย่างเปรียบเทียบรูปคลื่นสัญญาณที่รับได้การวางสายอากาศแบบ V-V และ H-H ที่ตำแหน่ง A1 กรณีเพศหญิง.....50
4.24	ยกตัวอย่างเปรียบเทียบรูปคลื่นสัญญาณที่รับได้การวางสายอากาศแบบ V-V และ H-H ที่ตำแหน่ง E5 กรณีเพศหญิง.....51
5.1	อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับตรวจวัดสถานะทางสุขภาพบนร่างกายมนุษย์.....53

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านสุขภาพได้มีการพัฒนาขึ้นอย่างมาก ซึ่งเทคโนโลยีโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ (Wireless body area network: WBAN) ได้ถูกนำมาใช้สำหรับการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านสุขภาพให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น โดยเทคโนโลยีดังกล่าวช่วยในการตรวจสอบสถานะทางสุขภาพของผู้ป่วย ซึ่งข้อมูลทางสุขภาพนั้นจะได้ออกมาจากการตรวจวัดจากโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ (Body area network: BAN) ไม่ว่าจะเป็นการวัดค่าระดับความเข้มข้นของออกซิเจน การวัดค่าระดับการเต้นของหัวใจ และการวัดค่าความดัน เป็นต้น โครงข่ายบนร่างกายมนุษย์เป็นการพัฒนาแนวคิดมาจากโครงข่ายส่วนบุคคล (Personal area network: PAN) ซึ่งเป็นการรวมกันของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กกับการเชื่อมต่อการสื่อสารไร้สายระยะสั้น โครงข่ายบนร่างกายมนุษย์จะอธิบายสภาพแวดล้อมรวมถึงบริเวณที่ใกล้ที่สุดซึ่งก็คือส่วนหนึ่งของร่างกายมนุษย์ โดยข้อมูลที่ได้มาเหล่านี้สามารถถูกส่งผ่านไปยังอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ปลายทางของแพทย์ผู้รักษาได้แบบเรียลไทม์ เพื่อให้แพทย์ทำการวินิจฉัยโรคได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งจะสามารถเห็นการประยุกต์ใช้งานโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ได้ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ [1]

สำหรับการสื่อสารข้อมูลของโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์นั้นสามารถใช้มาตรฐานของการสื่อสารข้อมูลได้หลากหลายรูปแบบ เช่น ซิกบี (ZigBee) และเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย (Wireless sensor network) สำหรับเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง (Ultra wideband: UWB) ซึ่งเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เพราะมีแถบกว้างมาก มีแบนด์วิดท์กว้าง และใช้กำลังงานต่ำ ซึ่งมีนักวิจัยจำนวนมากที่ให้ความสนใจเกี่ยวกับการพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สำหรับการสื่อสารข้อมูลบนร่างกายมนุษย์เหล่านี้ เพื่อให้ผลการตรวจวัดสถานะทางสุขภาพของผู้ป่วยและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อเผยแพร่ให้ผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสื่อสารข้อมูลไปยังอุปกรณ์ปลายทางมีความถูกต้องและแม่นยำมากที่สุด แต่การนำเทคโนโลยีนี้มาใช้งานจริงกับโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์นั้น ประสิทธิภาพของระบบอาจถูกลดทอนลงได้เนื่องจากปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อช่องสัญญาณในการสื่อสารข้อมูลเช่น สัญญาณรบกวนจากภายนอก เนื้อเยื่อของร่างกายมนุษย์ที่เป็นตัวกลางประกอบด้วยไขมัน และน้ำ ทำให้การแพร่กระจายถูกลดทอนเร็วกว่าในแบบอวกาศว่าง และรูปแบบของสายอากาศอาจจะมีผลกระทบกับร่างกายมนุษย์ เป็นต้น ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้ศึกษาการวัดช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งที่แถบความถี่ต่ำสำหรับโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ ซึ่งจากการค้นคว้างานวิจัยต่างๆ ที่ได้มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งกับโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ แถบความถี่ต่ำถือเป็นช่วงความถี่ที่เหมาะสมกับการใช้งานบนร่างกายมนุษย์ และได้พิจารณาการวางสายอากาศสำหรับการวัดค่าข้อมูลจากตำแหน่งต่างๆ บนร่างกายมนุษย์ในลักษณะที่แตกต่างกันระหว่างการวางสายอากาศแบบแนวตั้งกับแนวตั้งและแนวนอนกับแนวนอนของทั้งเพศชายและเพศหญิงจะส่งผลอย่างไรต่อฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง เพื่อนำผลที่ได้มาประยุกต์ใช้และพัฒนาอุปกรณ์สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งที่ใช้ในทางการแพทย์สำหรับโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ที่เหมาะสมกับทั้งเพศชายและเพศหญิงให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อต้องการศึกษาการวัดช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งที่แถบความถี่ต่ำสำหรับโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ และพิจารณาผลกระทบจากการวางสายอากาศสำหรับการวัดค่าข้อมูลจากตำแหน่งต่างๆ บนร่างกายมนุษย์ในลักษณะที่แตกต่างกันระหว่างการวางสายอากาศแบบแนวตั้งกับแนวตั้งและแนวนอนกับแนวนอนทั้งเพศชายและเพศหญิงที่มีต่อช่องสัญญาณการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง โดยสามารถศึกษาและวิเคราะห์ได้จากการวัดฟังก์ชันการถ่ายโอนและค่าการสูญเสียเชิงวิถีของช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่ง ซึ่งข้อมูลที่ได้นั้นจะมาจาก การวัดค่าข้อมูลที่ตำแหน่งต่างๆ บนร่างกายมนุษย์ โดยจะใช้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งที่ช่วงความถี่ 3.4 กิกกะเฮิร์ต ถึง 4.8 กิกกะเฮิร์ต บนพื้นฐานการส่งผ่านของฟรีส (Friis' transmission formula) และใช้สายอากาศแบบเส้นตัวนำคดเคี้ยว (Meander line antenna) ในการประเมินผลการวัดทั้งด้านส่งและด้านรับซึ่งสามารถจำแนกได้ดังนี้

- 1) เพื่อทำการศึกษาเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งที่นำมาประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ที่ใช้สำหรับทางการแพทย์
- 2) เพื่อศึกษาทฤษฎีการส่งผ่านของฟรีส และการประยุกต์ใช้สูตรของฟรีสสำหรับเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง
- 3) เพื่อศึกษาการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบเส้นตัวนำคดเคี้ยว และศึกษาลักษณะจำเพาะของการวางสายอากาศที่นำมาใช้สำหรับการวัดค่าข้อมูลบนร่างกายมนุษย์ทั้งเพศชายและเพศหญิง ให้ได้ค่าของข้อมูลที่ดีที่สุดและมีการลดทอนของช่องสัญญาณให้น้อยที่สุด สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ทางการแพทย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและถูกต้องแม่นยำที่สุด
- 4) เพื่อศึกษาการออกแบบจำลองการวัดโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์
- 5) เพื่อศึกษาการวิเคราะห์ผลโดยการเขียนแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (MATLAB)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

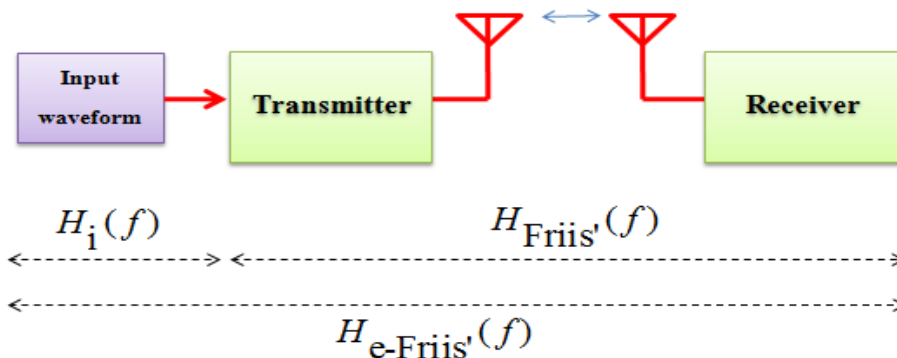
- 6) เพื่อศึกษาการวิเคราะห์การสูญเสียเชิงวิถี ขนาดและเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณ

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

จากการค้นคว้าและศึกษาผลงานต่างๆ ที่ผ่านมานั้น ได้มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง สำหรับการสื่อสารข้อมูลของโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่มีแถบกว้างมาก มีแบนด์วิดท์กว้าง และใช้กำลังงานต่ำซึ่งเหมาะสำหรับการใช้งานบนร่างกายมนุษย์เป็นอย่างยิ่ง [2] ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาการวัดช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งที่แถบความถี่ต่ำสำหรับโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ และพิจารณาผลกระทบที่เกิดจากการวางสายอากาศสำหรับการวัดค่าข้อมูลจากตำแหน่งต่างๆ บนร่างกายมนุษย์ของทั้งเพศชายและหญิง ในลักษณะที่แตกต่างกันที่มีผลต่อช่องสัญญาณ โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการวัดในสภาพแวดล้อมที่เหมือนกัน แต่จะปรับเปลี่ยนการจัดตำแหน่งของสายอากาศในการวัดทั้งทางด้านรับและด้านส่งเป็นแบบแนวตั้งกับแนวตั้งและแนวนอนกับแนวนอน โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ (Vector network analyzer: VNA) เป็นอุปกรณ์ในการวัด และใช้สายอากาศแบบเส้นตัวนำคดเคี้ยวสำหรับเป็นสายอากาศด้านส่งและด้านรับ ผลลัพธ์ที่ได้จะใช้ในการประเมินผลการสูญเสียเชิงวิถี ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนสัญญาณ และเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอน ผลจากการวิเคราะห์นี้จะช่วยให้ทราบถึงลักษณะของช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่ง ซึ่งผลที่ได้ของทั้งเพศชายและหญิงควรมีความสอดคล้องกัน เพื่อสามารถนำมาออกแบบอุปกรณ์สำหรับการวัดค่าของข้อมูลต่างๆ ได้อย่างเหมาะสมสำหรับทั้งชายและหญิง และสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาและออกแบบแอปพลิเคชันใหม่ๆ เกี่ยวกับเทคโนโลยีทางด้านสุขภาพได้ในอนาคต

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาผลกระทบต่อช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่ง ที่เกิดจากร่างกายมนุษย์ โดยการวัดช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งที่แถบความถี่ต่ำสำหรับโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ โดยการวางสายอากาศในการวัดที่ตำแหน่งต่างๆ บนร่างกายมนุษย์ในลักษณะที่แตกต่างกันระหว่างการวางสายอากาศแบบแนวตั้งกับแนวตั้งและแนวนอนกับแนวนอน ที่ช่วงความถี่ 3.4 กิกะเฮิร์ต ถึง 4.8 กิกะเฮิร์ต โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์เป็นอุปกรณ์ในการวัด และใช้สายอากาศแบบเส้นตัวนำคดเคี้ยว สำหรับเป็นสายอากาศด้านส่งและด้านรับ ซึ่งเป็นสายอากาศที่มีการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง (Omni – directional) และใช้การส่งผ่านของฟรีส แต่สูตรการส่งผ่านของฟรีส [3, 4] นั้นอธิบายอยู่ในรูปของกำลังงานหรือในโดเมนของความถี่ จึงต้องประยุกต์สูตรการส่งผ่านของฟรีสตามบล็อกไดอะแกรมของการส่งผ่านของฟรีสสำหรับเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งดังรูปที่ 1.2 ซึ่งจะสามารถใช้ในการวิเคราะห์ความผิดเพี้ยนของสัญญาณจากการจัดตำแหน่งของสายอากาศในการวัดทั้งทางด้านรับและด้านส่งในลักษณะที่แตกต่างกันเป็นแบบแนวตั้งกับแนวตั้งและแนวนอนกับแนวนอน เพื่อนำมาเปรียบเทียบหาวิธีที่การสูญเสียน้อยที่สุด



รูปที่ 1.2 บล็อกไดอะแกรมของการส่งผ่านแถบกว้างยิ่งสำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ [3]

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาการวัดช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งที่แถบความถี่ต่ำสำหรับโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ ซึ่งมีขอบเขตการวิจัยดังนี้

- 1) ศึกษาเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งสำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ที่นำมาประยุกต์ใช้สำหรับทางการแพทย์
- 2) ศึกษาทฤษฎีและหลักการการวิเคราะห์การส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่ง บนพื้นฐานการส่งผ่านของฟรีส
- 3) ออกแบบแบบจำลองเพื่อใช้ในการวัดและศึกษาคุณลักษณะของช่องสัญญาณการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่งบนร่างกายมนุษย์ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ในการวัดและบันทึกผล
- 4) ทำการประเมินผลที่ได้จากการวัดด้วยการเลียนแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์
- 5) วิเคราะห์ และเปรียบเทียบผล ประเมินผล และแสดงผลที่ได้จากการวิจัย

1.6 ขั้นตอนการศึกษา

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะประกอบไปด้วยเนื้อหาดังต่อไปนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญ วัตถุประสงค์ สมมติฐาน ทฤษฎีที่ใช้โดยสรุปขอบเขต และโครงประกอบของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบด้วยเทคโนโลยีการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง การประยุกต์ใช้งานของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง ทฤษฎีการส่งผ่านของฟรีสสำหรับแถบกว้างยิ่ง ระบบในการทดสอบช่องสัญญาณ การจำลองการสูญเสียเชิงวิถี และโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์

บทที่ 3 กล่าวถึงแบบแผนการทดลองวิจัย ประกอบไปด้วยรูปแบบของการวัดผลการทดลอง พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง รูปคลื่นสัญญาณที่ใช้ในการส่ง และขั้นตอนการทดลองสำหรับแบบจำลองการวางสายอากาศทั้งแบบแนวตั้งกับแนวตั้งและแนวนอนกับแนวนอน

บทที่ 4 กล่าวถึงผลการทดลองและผลการวิเคราะห์จากการใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ พิจารณาผลการทดลองการสูญเสียเชิงวิถี ขนาดและเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนสัญญาณ ช่องสัญญาณ และรูปคลื่นสัญญาณที่รับได้

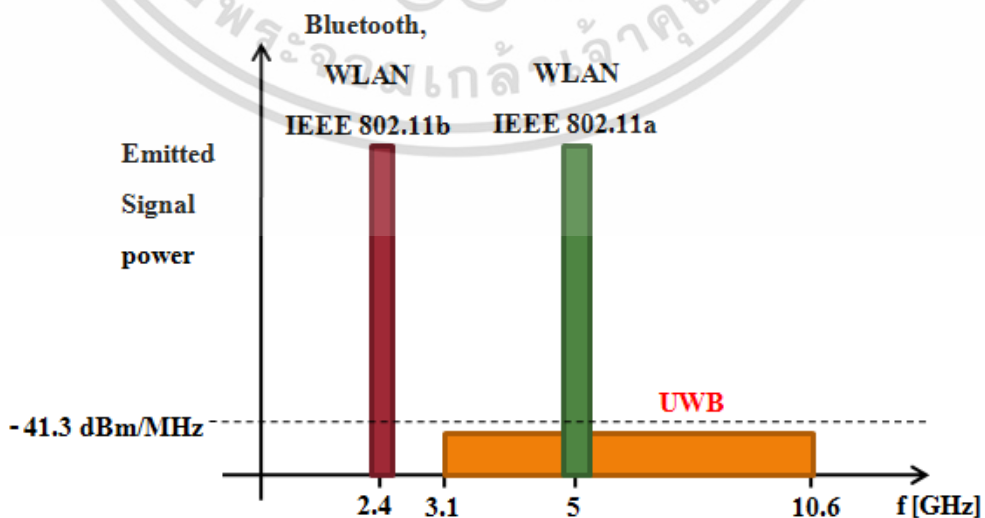
บทที่ 5 เป็นบทสรุปของผลการวิจัย และข้อเสนอแนะแนวทางการวิจัยในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 เทคโนโลยีการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง

เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่มีผู้ใช้และผู้ให้บริการอิเล็กทรอนิกส์และด้านการสื่อสารสนใจเกี่ยวกับเทคโนโลยีนี้เป็นจำนวนมากในปัจจุบัน ซึ่งเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งนี้เป็นเทคโนโลยีที่ได้มีการพัฒนามาจากเรดาร์ที่ใช้ในด้านทางการทหาร จุดเด่นที่สำคัญของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง คือมีแถบความถี่กว้างมาก มีความกว้างแถบความถี่ถึง 7.5 กิกะเฮิรต ที่ช่วงความถี่ระหว่าง 3.1 กิกะเฮิรต ถึง 10.6 กิกะเฮิรต และใช้กำลังงานต่ำอยู่บนมาตรฐาน IEEE802.15.3a หรือโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลแบบไร้สาย (Wireless personal area network: WPAN) [5] เทคโนโลยีนี้เป็นระบบการสื่อสารที่มีต้นทุนต่ำแต่มีอัตราเร็วของการรับส่งข้อมูลสูงมาก นอกจากนี้ยังมีความสามารถในการบอกตำแหน่งที่ถูกต้องแม่นยำสำหรับการประยุกต์ใช้งานที่เกี่ยวข้องกับการบอกพิกัดตำแหน่ง โดยเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งนี้มีการรับส่งสัญญาณที่แตกต่างจากเทคโนโลยีแถบความถี่แคบ (Narrowband) เนื่องจากไม่ได้มีการแพร่กระจายสัญญาณในลักษณะของการแบ่งแยกความถี่ แต่เทคโนโลยีนี้จะมีการแพร่กระจายสัญญาณอิมพัลส์ตลอดช่วงความถี่ที่มีความกว้างแถบความถี่กว้างมาก โดยการส่งสัญญาณข้อมูลรูปแบบเดิมจะแทนที่ด้วยสัญญาณพัลส์ ที่มีการส่งสัญญาณข้อมูลในลักษณะขบวนพัลส์จำนวนมากต่อวินาที โดยพัลส์แต่ละลูกนั้นจะเป็นพัลส์ที่มีความกว้างอยู่ในระดับนาโนวินาที ซึ่งพัลส์ที่มีช่วงเวลาแคบๆ จะมีสเปกตรัมที่กว้างมาก จึงทำให้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งนี้ มีต้นทุนถูกลง เนื่องจากอุปกรณ์การรับและภาคการรับส่งสัญญาณแบบอิมพัลส์ นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ขนาดเล็ก ทำให้ใช้กำลังงานต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบความถี่แคบที่ใช้กันอยู่ และมีระดับของสัญญาณใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวน (Background noise) เนื่องจากพัลส์ที่ได้ส่งออกไปนั้นมีกำลังต่ำมากถึงระดับนาโนวัตต์ จากรูปที่ 2.1 ได้แสดงการเปรียบเทียบช่วงความถี่ระหว่างแถบกว้างยิ่งและแถบความถี่อื่นๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสาร **รูปที่ 2.1** เปรียบเทียบช่วงความถี่ระหว่างแถบกว้างยิ่งและแถบความถี่อื่นๆ [5] ในด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องด้วยเทคโนโลยีแถบกว้างยังเป็นเทคโนโลยีใหม่ ซึ่งเหมาะสำหรับการนำไปพัฒนาระบบไร้สายแบบแถบกว้างทั้งในปัจจุบันและอนาคต สามารถประยุกต์ใช้ในระบบสื่อสารต่างๆ ได้มากมาย เป็นระบบการสื่อสารไร้สายที่มีอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงในระดับหลายร้อยเมกะบิตต่อวินาที ใช้ในระยะทางสั้นที่ระยะทาง 10 เมตรจะมีความเร็ว 110 เมกะบิตต่อวินาที และมีอัตราการรับส่งข้อมูลที่สูงขึ้นในระยะทางที่สั้นลง โดยที่ระยะทาง 2 เมตรจะมีความเร็วสูงถึง 480 เมกะบิตต่อวินาที ความจุของช่องสัญญาณหรืออัตราข้อมูลต่อบิตสูง ซึ่งมีขนาดความจุที่มากของเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยังสามารถพิจารณาได้จากทฤษฎีของฮาร์ทเลย์-แชนนอน (Hartley-Shannon theorem) [5] ดังสมการที่ 2.1

$$C_c = BW \log_2 (1 + SNR) \quad (2.1)$$

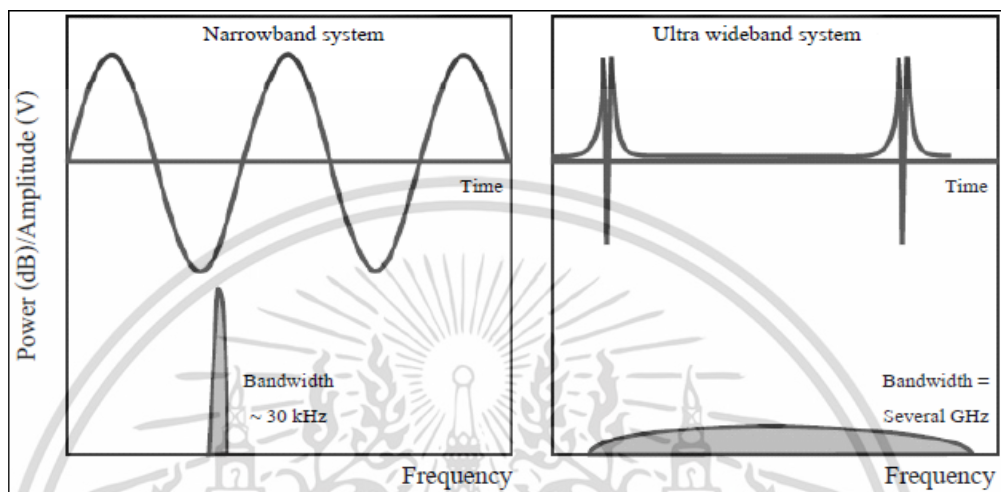
เมื่อ

- C** คือความจุสูงสุดของช่องสัญญาณมีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที
BW คือความกว้างแถบความถี่ของช่องสัญญาณมีหน่วยเป็นเฮิร์ต (Hertz)
SNR คืออัตราส่วนของกำลังส่งสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนในช่องสัญญาณ
 (Signal to Noise Ratio : SNR)

ซึ่งจากสมการที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าค่าความจุของช่องสัญญาณจะเพิ่มเป็นเชิงเส้นเมื่อเพิ่มความกว้างแถบความถี่ แต่จะเพิ่มเป็นลอการิทึมเมื่อทำการเพิ่มในส่วนของอัตราส่วนของกำลังส่งสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนในช่องสัญญาณ ช่องสัญญาณของแถบกว้างยิ่งนั้นมีความกว้างแถบความถี่ที่สามารถใช้งานได้อย่างสมบูรณ์และในความเป็นจริงสามารถแลกเปลี่ยนบางส่วนของความกว้างแถบความถี่ เพื่อทำการลดกำลังส่งของสัญญาณและสัญญาณรบกวนจากแหล่งกำเนิด ดังนั้นจากสมการของแชนนอน จะกล่าวได้ว่าระบบของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งนั้นมีความจุของช่องสัญญาณสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสื่อสารไร้สายรูปแบบอื่นๆ ในปัจจุบันรูปแบบการสื่อสารไร้สายยังคงมีวิธีการรับส่งสัญญาณพื้นฐานที่เป็นคลื่นรูปแบบไซน์ เนื่องจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เป็นคลื่นรูปแบบไซน์นั้นมีความเป็นสากลสำหรับการติดต่อสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุ แต่เทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนี้เป็นพื้นฐานของการรับส่งสัญญาณข้อมูลด้วยสัญญาณพัลส์ ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นสำหรับการเปลี่ยนแปลงจากระบบการสื่อสารด้วยสัญญาณรูปแบบคลื่นไซน์ไปเป็นการสื่อสารด้วยสัญญาณพัลส์แทน โดยเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งได้เข้ามามีบทบาทในการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาการสื่อสารข้อมูลไร้สายระยะใกล้ที่ต้องการความเร็วและความกว้างแถบความถี่สำหรับรับส่งข้อมูลที่สูงมาก เนื่องจากเทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งมีการรับส่งสัญญาณในลักษณะของพัลส์ที่ถูกบีบอัดในโดเมนเวลามากกว่าจะเป็นรูปแบบของสัญญาณที่เป็นคลื่นไซน์ที่ถูกบีบอัดในโดเมนความถี่ เนื่องจากสัญญาณพัลส์ที่มีช่วงเวลาแคบมาก ระดับพิโกวินาที ในโดเมนเวลาจะมีการแผ่สเปกตรัมที่กว้างมากในโดเมนความถี่ ส่วนลักษณะสัญญาณแบบคลื่นไซน์พื้นฐานแล้วจะมีการขยายในโดเมนเวลา แต่เมื่ออยู่ในโดเมนความถี่แล้วจะเป็นพัลส์ที่แคบมาก โดยความแตกต่างของการรับส่งสัญญาณทั้งสองรูปแบบนั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.2 เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารที่มีการครอบครองแบนวิดท์ที่มีค่ามากกว่า 500 เมกะเฮิร์ต หรือมีความกว้างแถบความถี่มากกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไปของความถี่กลางที่ใช้งาน [6]

และระบบที่เป็นการสื่อสารแบบแถบความถี่แคบส่วนใหญ่จะมีการครอบครองความถี่แถบความถี่เอกสารถึงเป็นเอกสารถึงสว่นไวสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ของความถี่กลาง และมีการส่งสัญญาณด้วยกำลังส่งที่สูงมาก ยกตัวอย่างเช่น ระบบการสื่อสารแถบกว้างยังมีการใช้สเปกตรัมทั้งหมดจาก 3.1 ถึง 10.6 กิกะเฮิร์ต ซึ่งมีการใช้ความกว้างแถบความถี่มากกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ของความถี่กลาง ซึ่งแตกต่างจาก 802.11b ที่เป็นระบบการสื่อสารที่มีความถี่กลางอยู่ที่ 2.45 กิกะเฮิร์ต และมีแบนวิทที่ใช้งาน 80 เมกะเฮิร์ต โดยระบบการสื่อสารนี้จะมีการครอบครองความกว้างแถบความถี่เพียง 1 เปอร์เซ็นต์ของความถี่กลาง



รูปที่ 2.2 เปรียบเทียบลักษณะสัญญาณการสื่อสารระหว่างเทคโนโลยีแถบกว้างยังและเทคโนโลยีที่ใช้แถบความถี่แคบทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ [7]

2.2 ประวัติและความเป็นมาเทคโนโลยีแถบกว้างยัง

เทคโนโลยีแถบกว้างยัง มีประวัติความเป็นมาที่ยาวนานตั้งแต่สมัยที่มาร์โคนี (Marconi) ได้สาธิตการทดลองโดยใช้สปาร์กแกป (Spark gap) ในการรับส่งสัญญาณวิทยุอิมพัลส์ (Impulse - radio) ข้ามมหาสมุทรแอตแลนติกในปี 1901 ต่อมาในปี ค.ศ. 1962 ได้ประดิษฐ์เครื่องส่งวิทยุแถบกว้างยังโดยใช้หลักการส่งผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในโดเมนเวลา และได้ถูกนำไปใช้ในการส่งสัญญาณในโครงข่ายไมโครเวฟในปี ค.ศ. 1963-1966 ซึ่งมีการแนวทางในการพัฒนาว่าต้องมีรูปแบบที่ง่ายและไม่ซับซ้อน โดยใช้คุณลักษณะของการตอบสนองความถี่ เช่น ขนาดของสัญญาณ และเฟส ซึ่งสามารถวิเคราะห์ความแตกต่างของผลตอบสนองของสัญญาณจากฟังก์ชันในการส่งผ่านสัญญาณ ของช่องสัญญาณได้ อย่างไรก็ตามในการวิเคราะห์สัญญาณนั้นได้ใช้เครื่อง ออสซิลโลสโคปในการสุ่มค่าของสัญญาณ เพื่อมาทำการวิเคราะห์และพัฒนาโครงข่ายในระบบไมโครเวฟ และรูปแบบของสัญญาณที่ใช้ในการส่งผ่าน โดยการวิเคราะห์และการวัดสัญญาณ เทคนิคในการวัดสัญญาณนั้น

แรกเริ่มได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับแถบความถี่กว้างในปี ค.ศ. 1968 ซึ่งทำให้เกิดการพัฒนาสัญญาณที่มีขนาดแคบได้อย่างรวดเร็ว และได้ถูกนำไปใช้ในการส่งสัญญาณติดต่อสื่อสารแบบ เรดาร์ ในปี ค.ศ. 1972 และในปีต่อมาเครื่องออสซิลโลสโคป ที่ใช้การวิเคราะห์ ความถี่ที่สูงขึ้นก็ได้ถูกสร้างขึ้น จึงทำให้มีการกำหนดแถบความถี่กว้างยังในปี ค.ศ.1973 ต่อมาในปี ค.ศ.1980 นั้นก็ได้มีการกำหนดให้เทคโนโลยีแถบความถี่กว้างยังนี้ไม่จำเป็นต้องใช้คลื่นพาหะ ในการส่งสัญญาณเหมือนอย่างแถบความถี่กว้างอีกต่อไป และเป็นจุดที่แตกต่างจากการส่งคลื่นวิทยุแบบอื่นที่มีมาก่อนหน้านั้น ต่อมาได้ถูกพัฒนาในประเทศสหรัฐอเมริกาต่อในปี ค.ศ. 1989 ในช่วงเวลาเกือบ 30 ปี ทฤษฎีของแถบความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

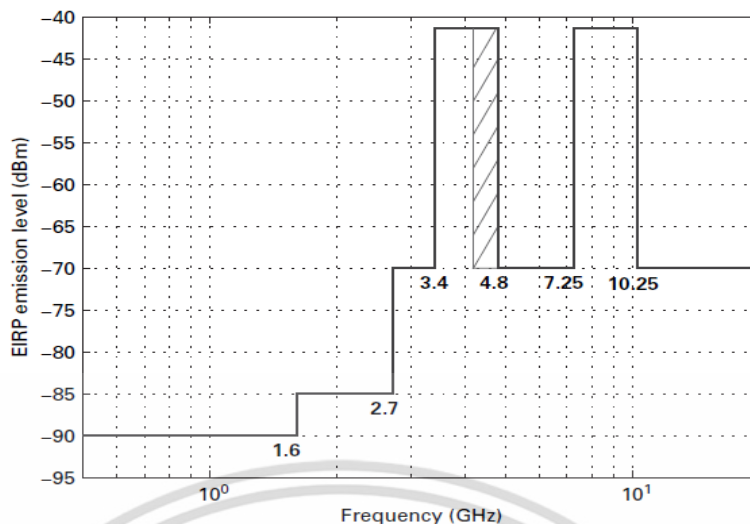
กว้างยิ่งได้ถูกพัฒนาทั้งด้านเทคนิคและอุปกรณ์ เช่น ในปี ค.ศ.1989 ได้มีการจดสิทธิบัตรมากกว่า 50 ชิ้น เกี่ยวกับการสร้างสัญญาณแถบความถี่กว้างยิ่งและวิธีในการรับส่งสัญญาณ และการนำแถบความถี่กว้างยิ่งได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้งานหลากหลายรูปแบบ เช่น ในการติดต่อสื่อสารในระบบเรดาร์ การป้องกันการชนกันของคลื่นมือถือ, ระบบบอกพิกัด และตรวจวัดระดับของเหลว โดยใช้คุณลักษณะของแถบถี่กว้างยิ่ง โดยตั้งแต่ปี ค.ศ. 1994 เทคโนโลยี แถบความถี่กว้างยิ่งได้ถูกพัฒนาเพื่อใช้ในระบบการติดต่อสื่อสารอย่างรวดเร็วโดยรัฐบาลสหรัฐอเมริกา จนปี ค.ศ. 1998 ได้มีการเริ่มพิจารณามาตรฐานและข้อกำหนด และในปี ค.ศ. 2002 ได้มีการประกาศใช้ข้อกำหนดแถบความถี่กว้างยิ่ง และได้จัดการประชุมวิชาการระดับนานาชาติครั้งแรก

2.3 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเทคโนโลยีการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง

2.3.1 นิยามและข้อกำหนดเกี่ยวกับเทคโนโลยีการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง

สำหรับรูปแบบสัญญาณของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งถูกกำหนดโดยองค์การกิจการโทรคมนาคม (Federal communications commission หรือ FCC) ซึ่งมีความกว้างแถบความถี่ของสัญญาณมากกว่า 500 เมกะเฮิร์ต หรือมากกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ที่ค่าของความถี่กลาง และมีการรับส่งสัญญาณในรูปแบบของสัญญาณพัลส์ ซึ่งมีความกว้างของพัลส์อยู่ในช่วง 100 ถึง 300 นาโนวินาที โดยสัญญาณพัลส์ของเทคโนโลยีการสื่อสารแถบกว้างยิ่งที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดนิยมใช้สัญญาณพัลส์ในรูปแบบของเกาส์เซียนพัลส์ และโมโนไซเคิลพัลส์ ที่มีความหนาแน่นกำลังงานเชิงสเปกตรัมที่ต่ำมาก อุปกรณ์ของระบบการสื่อสารรูปแบบอื่นจะตรวจหาสัญญาณได้ยากเนื่องจากระดับสัญญาณของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งมีความใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวนพื้นหลัง ดังนั้นสัญญาณของเทคโนโลยีการสื่อสารแถบกว้างยิ่งจะมีประสิทธิภาพในเรื่องความปลอดภัยเป็นอย่างดี โดยจะมีการแฝงตัวไปกับสัญญาณรบกวนพื้นหลัง โดยหลังจากที่เทคโนโลยีการสื่อสารแถบกว้างยิ่งได้รับแรงผลักดันจากกิจการโทรคมนาคมของสหรัฐอเมริกาแล้ว จึงได้รับการจัดสรรย่านความถี่ใช้งาน โดยไม่ต้องมีการขออนุญาตของอุปกรณ์สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารแถบกว้างยิ่งในช่วง 3.1 ถึง 10.6 กิกะเฮิร์ต โดยมีความกว้างแถบความถี่ 7.5 กิกะเฮิร์ต และในเดือนมีนาคม ปี 2006 กระทรวงกิจการภายในและการสื่อสารของประเทศญี่ปุ่น (The Ministry of Internal Affairs and Communications: MIC) ได้มีการอนุญาตให้ใช้อุปกรณ์การสื่อสารสำหรับแถบกว้างยิ่งภายในอาคารอย่างเป็นทางการและมีแนวโน้มว่าจะมีการพัฒนาเพื่อใช้สำหรับอุปกรณ์การสื่อสารสำหรับแถบกว้างยิ่งภายนอกอาคารในอนาคต ซึ่งโดยทั่วไปในปัจจุบันตามมาตรฐานของประเทศญี่ปุ่นจะมีการแบ่งแถบความถี่ออกเป็น 2 รูปแบบคือ แถบความถี่ต่ำ (Low band) ซึ่งจะมีช่วงความถี่อยู่ที่ช่วงความถี่ 3.4 กิกะเฮิร์ตถึง 4.8 กิกะเฮิร์ต และแถบความถี่สูง (High band) จะมีช่วงความถี่อยู่ที่ช่วงความถี่ 7.25 กิกะเฮิร์ตถึง 10.25 กิกะเฮิร์ต ในช่วงแถบความถี่ต่ำเหมาะสำหรับการนำมาประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์เนื่องจากความถี่ต่ำจะมีความปลอดภัยต่อการใช้งานบนร่างกายมนุษย์และทนต่อการรบกวนของสัญญาณรบกวนได้เป็นอย่างดี โดยจะกำหนดให้มีการแพร่กระจายพลังงานของอุปกรณ์การสื่อสารสำหรับเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งในระดับต่ำที่ไม่เกิน -41.3 เดซิเบลมิลลิวัตต์ต่อเมกะเฮิร์ต ซึ่งมีการแบ่งช่วงสเปกตรัมความถี่เทียบกับระดับกำลังงานสำหรับการสื่อสารภายในอาคาร ดังได้แสดงในรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 สเปกตรัมระดับพลังงานสำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารแถบกว้างยิ่งภายในอาคาร [8]

จากข้อกำหนดขององค์การกิจการโทรคมนาคม ได้กำหนดช่วงความถี่ใช้งานสำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารแถบกว้างยิ่งที่สามารถใช้งานได้ คือช่วงความถี่ที่มีการแผ่กระจายพลังงานออกมาต่ำกว่า -10 เดซิเบล โดยที่ความถี่ด้านสูงกำหนดเป็น f_h ความถี่ด้านต่ำกำหนดเป็น f_l และความถี่ที่มีการแผ่กระจายพลังงานออกมาสูงสุดกำหนดเป็น f_m โดยที่ความถี่กลางกำหนดเป็น f_c ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยระหว่างความถี่สูงสุดและความถี่ต่ำสุดแสดงได้ดังสมการ 2.2 มีความกว้างแถบความถี่ของสัญญาณแสดงได้ดังสมการที่ 2.3 และมีอัตราส่วนของความถี่แถบความถี่ (FB) แสดงดังสมการ 2.4

$$f_c = \frac{f_l + f_h}{2} \quad (2.2)$$

$$B = \frac{f_h - f_l}{f_c} \quad (2.3)$$

$$FB = 2 \frac{f_h + f_l}{f_h - f_l} \quad (2.4)$$

จากข้อกำหนดของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งสามารถใช้งานด้วยความถี่แถบความถี่กว้างนี้ส่งผลให้ต้องมีการแผ่กระจายพลังงานของอุปกรณ์การสื่อสารสำหรับเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งในระดับต่ำที่ไม่เกิน -41.3 เดซิเบลมิลลิวัตต์ต่อเมกะเฮิร์ต เพื่อให้สามารถอยู่ร่วมกับระบบการสื่อสารอื่นๆ ได้อย่างไม่มีปัญหา เนื่องด้วยข้อกำหนดและกฎเกณฑ์ต่างๆ ที่ได้กล่าวมาแล้ว การทำงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีการสื่อสารแถบกว้างยิ่งนั้น ถือได้ว่าเป็นสิ่งที่ท้าทายสำหรับนักวิจัยทุกคนที่ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับระบบการสื่อสารของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งในทุกๆด้าน เพราะเทคโนโลยีการสื่อสารแถบกว้างยิ่งนั้น เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารรูปแบบใหม่ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ซึ่งเมื่อมีการนำมาใช้งานแล้วย่อมต้องมีการวิจัยและพัฒนาในทุกๆด้านที่เกี่ยวข้องกับระบบ เพื่อให้ระบบมีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะในส่วนของสายอากาศและวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์สำหรับเครื่องส่งของเทคโนโลยีการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง

2.3.2 ข้อเปรียบเทียบระหว่างเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งกับเทคโนโลยีแถบความถี่แคบ

เทคโนโลยีการสื่อสารแถบกว้างยิ่งมีข้อดีหลายประการที่เหนือกว่าเทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบความถี่แคบ โดยที่สัญญาณของเทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบความถี่แคบนั้นถูกกำหนดด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความกว้างแถบความถี่น้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ของความถี่กลาง แต่สำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารแถบกว้างยิ่งแล้วสัญญาณจะเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความกว้างแถบความถี่มากกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ของความถี่กลาง นอกจากนี้สัญญาณการสื่อสารสำหรับเทคโนโลยีแบบแถบความถี่แคบนั้นจะมีการมอดูเลชันด้วยคลื่นพาห์ (Carrier) ที่เป็นสัญญาณรูปไซน์รวมเข้ากับข้อมูลข่าวสารที่ส่งออกไป ซึ่งเป็นผลจากลักษณะของสัญญาณที่เป็นรูปไซน์และมีการครอบครองความถี่แถบความถี่ที่แคบแต่สำหรับระบบการสื่อสารของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งแล้วสัญญาณจะถูกกำหนดด้วยรูปแบบของพัลส์ ซึ่งเป็นรูปแบบสัญญาณเฉพาะสำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง โดยจะมีการพิจารณาถึงรูปแบบและรูปร่างของสัญญาณพัลส์ที่นำมาใช้เท่านั้น ไม่มีการมอดูเลตด้วยคลื่นพาห์ซึ่งทำให้ลดความซับซ้อนของระบบลงได้อย่างมาก และถูกรบกวนจากสัญญาณอื่นได้น้อยมาก เนื่องจากโดยส่วนมากแล้วสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นนั้นจะครอบคลุมเฉพาะช่วงความถี่สเปกตรัมบางส่วนของสัญญาณแถบกว้างยิ่งเท่านั้น เช่นในกรณีที่มีสัญญาณรบกวนเข้ามาในระบบก็ถูกรบกวนในช่วงความถี่แคบๆ เท่านั้นเมื่อเทียบกับสัญญาณตลอดช่วงความถี่แถบความถี่ที่ใช้งาน ซึ่งจะไม่ส่งผลกระทบต่อ การสื่อสารของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง [9] สำหรับสัญญาณของเทคโนโลยีการสื่อสารแถบกว้างยิ่งในโดเมนเวลาจะเป็นสัญญาณในลักษณะของพัลส์แคบ ๆ ที่ไม่มีความต่อเนื่อง โดยสัญญาณข้อมูลมีพลังงานและคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวนพื้นหลังมาก และจากสัญญาณข้อมูลมีการใช้แถบความถี่ที่กว้างมากจึงส่งผลให้สัญญาณที่อยู่ในโดเมนความถี่มีความหนาแน่นพลังงานเชิงสเปกตรัมที่ต่ำไปด้วย แต่ถึงอย่างไรก็ตามสัญญาณยังอยู่ในระดับที่มีความเป็นไปได้สำหรับการตรวจจับของอุปกรณ์การสื่อสาร

2.3.3 ข้อดีของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง

ระบบการสื่อสารของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งมีข้อดีมากกว่าระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่แคบหลายประการ โดยเทคโนโลยีการสื่อสารแถบกว้างยิ่งมีการส่งสัญญาณด้วยพัลส์ที่แคบอย่างยิ่ง และมีการใช้พลังงานของระบบต่ำ ซึ่งพลังงานของพัลส์นี้จะมีการแพร่กระจายตลอดย่านความถี่ที่กว้างมาก ซึ่งทนต่อสัญญาณรบกวนสูงมากเนื่องจากสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นนั้นจะครอบคลุมเฉพาะสเปกตรัมบางส่วนของสัญญาณแถบกว้างยิ่งเท่านั้น เช่นในกรณีที่มีสัญญาณรบกวนก็จะถูกรบกวนในช่วงความถี่แคบ ๆ เท่านั้นเมื่อเทียบกับความถี่แถบความถี่ที่ใช้ และนอกจากนี้ยังมีผลกระทบจากสัญญาณรบกวนของอุปกรณ์การสื่อสารรูปแบบอื่นน้อยมาก โดยผลจากการที่อุปกรณ์แถบกว้างยิ่งใช้สัญญาณพัลส์ที่แคบอย่างยิ่งในการสื่อสารจึงทำให้ทนต่อสัญญาณรบกวนที่มาจากหลาย ๆ ทิศทาง และสัญญาณของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งนี้มีระดับสัญญาณที่ใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวนพื้นหลังเป็นอย่างมากจึงไม่ส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์การสื่อสารอื่น ๆ เนื่องจากจะถูกมองว่าเป็นสัญญาณรบกวนของระบบการสื่อสารในเทคโนโลยีแบบแถบความถี่แคบ นอกจากนี้อุปกรณ์การสื่อสารสำหรับเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งยังมีการบริโภคพลังงานที่น้อยกว่าเทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบความถี่แคบ เมื่อมีการพิจารณาจากการส่งข้อมูลด้วยอัตราเร็วเท่ากัน ทั้งนี้เนื่องจากแถบกว้างยิ่งมีความจุของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ประโยชน์อื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่องสัญญาณสูงมากนอกจากนี้ยังมีข้อดีอื่นๆ อีกเช่น อุปกรณ์ที่ใช้ในการสื่อสารของเทคโนโลยีแถบกว้างยังมีราคาที่ถูกกว่าเนื่องจากอุปกรณ์ไม่จำเป็นต้องมีตัวช่วยขยายสัญญาณและเครื่องกำเนิดสัญญาณจากภายนอกเหมือนกับเทคโนโลยีการสื่อสารแถบความถี่แคบ ซึ่งสำหรับในมุมมองของผู้ใช้และมุมมองของผู้ผลิตแล้วอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลที่สูงนี้เป็นสิ่งที่ดึงดูดความสนใจได้เป็นอย่างมาก เนื่องจากการมีอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ใหม่ๆ ได้ โดยความได้เปรียบของเทคโนโลยีการสื่อสารแถบกว้างยังสามารถอธิบายได้เป็นอย่างดีด้วยสมการค่าความจุของแชนเนล ซึ่งสมการนี้เป็นที่คุ้นเคยกับทุกคนที่ทำการศึกษากี่ยวข้องกับทางด้านสื่อสารโทรคมนาคม ความจุเป็นสิ่งสำคัญเนื่องจากความต้องการประยุกต์ใช้งานสำหรับการส่งข้อมูลที่เป็นมัลติมีเดีย ต้องการอัตราเร็วและความกว้างแถบความถี่ในการรับส่งข้อมูลที่สูงมาก

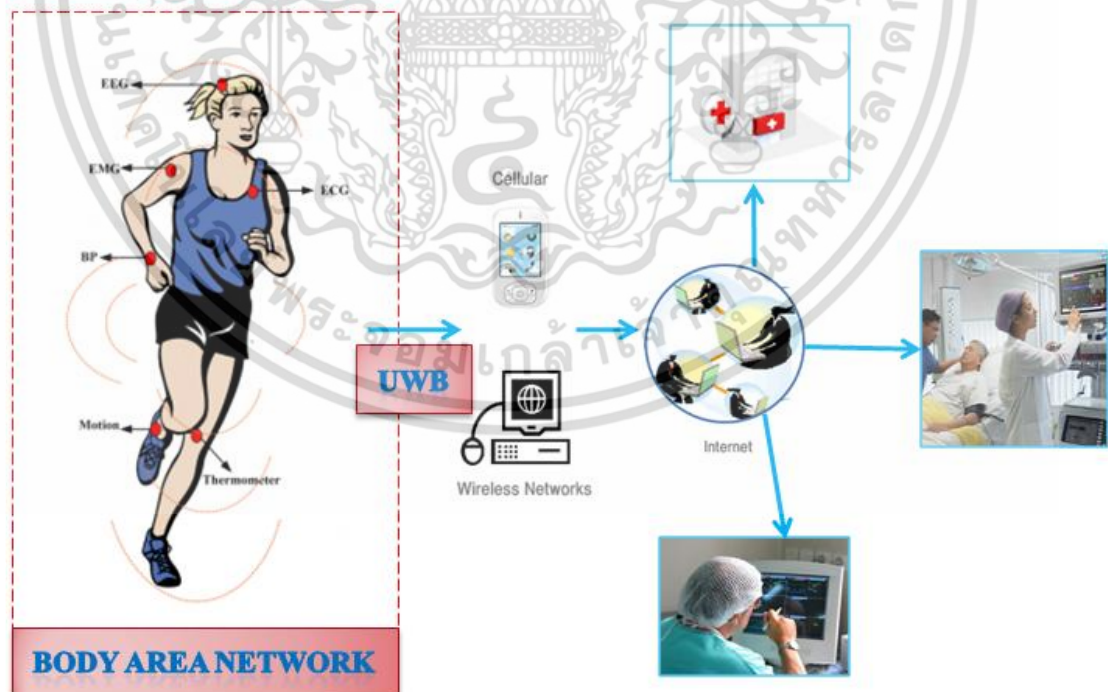
2.3.4 การประยุกต์ใช้งานของเทคโนโลยีแถบกว้าง

การพัฒนาการสื่อสารของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งเกิดขึ้นมากมายเนื่องจากข้อดีที่เห็นอย่างชัดเจนดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั่นคือ มีอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงมาก และใช้พลังงานในระดับต่ำ โดยก่อนที่องค์กรกิจการโทรคมนาคมจะมีการประกาศใช้เทคโนโลยีการสื่อสารแถบกว้างยิ่งในเชิงพาณิชย์นั้น เหตุผลหลักที่มีการคิดค้นเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งขึ้นมาเพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับทางการทหาร ต่อมาเมื่อมีการนำออกมาใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์แล้วมุ่งเน้นไปที่การประยุกต์ใช้กับการติดต่อสื่อสารภายในอาคารบ้านเรือนเป็นหลัก เช่น การเชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ภายในอาคารบ้านเรือนแบบไร้สายด้วยความเร็วสูง ซึ่งเป็นการมุ่งเน้นการเชื่อมต่อด้วยโครงข่ายไร้สายส่วนบุคคล โดยอยู่ภายใต้มาตรฐาน IEEE 802.15.3a และเหมาะสำหรับผู้ใช้ที่ไม่ต้องการให้มีสายสัญญาณเชื่อมต่อจากเครื่องคอมพิวเตอร์ไปยังอุปกรณ์เชื่อมต่อ เช่น เครื่องพิมพ์ จอภาพ เม้าส์ฮาร์ดไดรฟ์ คีย์บอร์ด เป็นต้น รวมถึงเชื่อมต่ออุปกรณ์อื่น ๆ นอกเหนือจากอุปกรณ์คอมพิวเตอร์เข้ามาในโครงข่ายได้ และสามารถโยกย้ายหรือปรับเปลี่ยนโครงข่ายได้โดยง่ายนอกจากการสร้างโครงข่ายเชื่อมต่อสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้วยังสามารถประยุกต์ใช้ได้กับเทคโนโลยีอื่นอีก เช่น เทคโนโลยีที่ใช้ในการระบุสิ่งต่างๆ ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (Radio frequency identification หรือ RFID) ได้ เพราะว่ามีข้อดีในเรื่องของการใช้พลังงานในระดับต่ำดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งทำให้มีระยะเวลาการใช้งานที่ยาวนานด้วยแบตเตอรี่เพียงก้อนเดียว และเป็นการช่วยลดต้นทุนด้วยเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งถูกนำมาใช้ในระบบการสื่อสารระยะสั้นระหว่างคอมพิวเตอร์อุปกรณ์ที่อยู่ภายในอาคารสำนักงาน และโครงข่ายภายในบ้านพักอาศัย ที่มีความต้องการความเร็วสูง ซึ่งสัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากสายอากาศนั้นอาจจะถูกลดทอนกำลังงาน (Power attenuation) โดยปัจจัยต่างๆ เช่น ถูกลดทอนโดยผนังหรือกำแพงของอาคาร จากวัสดุอุปกรณ์เครื่องใช้ต่าง ๆ ที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง ทั้งหมดที่ได้กล่าวมานี้ล้วนแล้วแต่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของสัญญาณที่ทางด้านเครื่องรับ เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายรูปแบบ เช่น การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายภายในอาคารสำนักงาน (Offices network), การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายภายในบ้านพักอาศัย (Home network), การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์, การประยุกต์ใช้งานการหาตำแหน่ง (UWB localization) และการประยุกต์ใช้งานโครงข่ายไร้สายทางด้านทางการแพทย์ (Wireless medical network) เป็นต้น สำหรับการประยุกต์ใช้งานโครงข่ายไร้สายทางด้านทางการแพทย์จะพิจารณาจากผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ทำให้คุณลักษณะจำเพาะของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์หรือเครื่องมือวัดทางการแพทย์เปลี่ยนไป และการเชื่อมต่อเข้ากับโครงข่ายปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการสื่อสารในสภาพแวดล้อมจริงจะทำให้เกิดการผิดพลาดได้

ในอีกไม่นานร่างกายของมนุษย์จะกลายเป็นส่วนหนึ่งของการสื่อสารเครือข่ายข้อมูล สำหรับระบบอัจฉริยะที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ โครงข่ายที่กล่าวมานั้นก็คือโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ ซึ่งคุณลักษณะที่โดดเด่นคือการที่ข้อมูลต่างๆ สามารถถูกส่งผ่านไปยังผู้อื่น หรือส่งผ่านไปยังอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ได้โดยการสัมผัส นักวิจัยจำนวนมากกำลังให้ความสนใจเกี่ยวกับการพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ทั้งเพื่อใช้วัดค่าระดับความเข้มข้นของออกซิเจน วัดค่าระดับการเต้นของหัวใจ วัดค่าระดับน้ำตาลในเลือด และวัดค่าความดัน ซึ่งตัวตรวจจับสัญญาณต่างๆ เหล่านี้มีทั้งแบบสวมใส่ได้และแบบฝังตัว ในยุคเริ่มต้นของเทคโนโลยีการเชื่อมต่อแบบไร้สายที่ประหยัดทั้งพลังงานและราคา โครงข่ายบนร่างกายมนุษย์สามารถถูกสร้างและวางระบบโดยพัฒนาจากเทคโนโลยีส่วนที่มีอยู่ ซึ่งตัวตรวจจับสัญญาณแต่ละตัวจะส่งข้อมูลที่ได้ทำการเก็บมาในรูปแบบไร้สายไปยังหน่วยประมวลผลภายนอกซึ่งอยู่ที่ผู้ป่วยหรือบริเวณใกล้ๆ กับผู้ป่วย ระบบนี้ถูกเรียกว่าโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ จากนั้นหน่วยประมวลผลจะใช้เครือข่ายข้อมูลแบบเดิม เช่น อีเทอร์เน็ต, การสื่อสารแบบไร้สาย หรือจีเอสเอ็ม ในการส่งข้อมูลทุกๆ อย่างแบบเรียลไทม์ไปยังอุปกรณ์ของแพทย์หรือเครื่องแม่ข่าย ดังจะแสดงได้ตามรูปที่ 2.4 ซึ่งแสดงถึงการประยุกต์ใช้งานโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์สำหรับเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง ตัวตรวจจับสัญญาณที่ใช้ในโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ต้องการความถูกต้องแม่นยำเป็นอย่างมากสำหรับปัจจัยทางกายภาพที่สนใจอยู่และการประมวลผลที่ใช้สัญญาณระดับต่ำ ตลอดจนความสามารถของการทำงานในรูปแบบไร้สาย



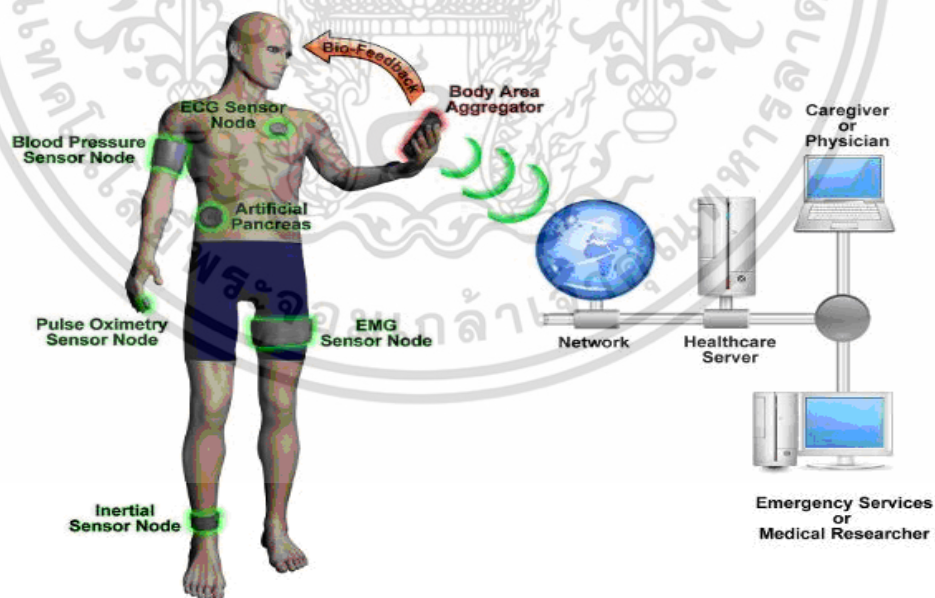
รูปที่ 2.4 การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์สำหรับเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 โครงข่ายบนร่างกายมนุษย์

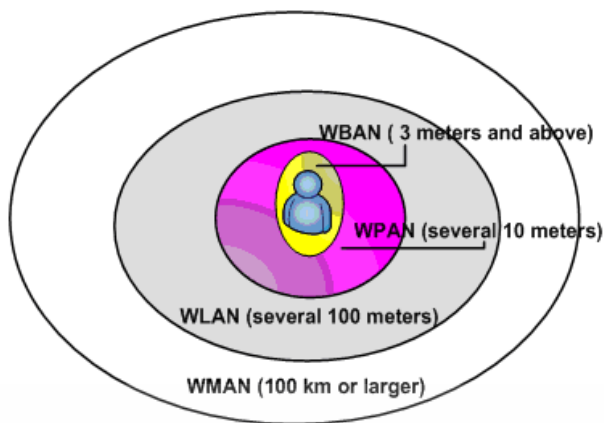
เป็นการพัฒนาจากแนวคิดโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคล และโครงข่ายไร้สายกับจุดที่อยู่บนร่างกายมนุษย์หรือบริเวณใกล้เคียง โดยมีพื้นฐานจากงานที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งแมสซาชูเซต (Massachusetts Institute of Technology: MIT) และบริษัทไอพีเอ็ม ซึ่งความก้าวหน้าทางการสื่อสารและเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ทำให้เกิดการพัฒนาอุปกรณ์ที่มีขนาดกะทัดรัดและอัจฉริยะที่สามารถนำมาวางไว้บนร่างกายของมนุษย์หรือฝังอยู่ในร่างกายของมนุษย์ได้ ในอนาคตโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์จะมีการประมวลผลที่สูงขึ้นและมีความซับซ้อนที่จะให้ฟังก์ชันของการคำนวณที่มีประสิทธิภาพ ทั้งนี้เพื่อรองรับสำหรับการใช้งานที่สูงขึ้น เมื่อมีความต้องการมากขึ้นจึงนำไปสู่การวิจัยและการพัฒนาที่เพิ่มขึ้น ในส่วนของการใช้งานด้านโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ สำหรับการประยุกต์ใช้งานต่างๆ โดยมีความน่าสนใจของทางด้านเทคโนโลยีสุขภาพและเครื่องที่สวมใส่ได้

แนวความคิดของโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ เริ่มต้นเพื่อวัตถุประสงค์ทางการแพทย์ สำหรับการจัดเก็บและบันทึกข้อมูลสถานะทางสุขภาพของผู้ป่วยอย่างต่อเนื่องและตลอดเวลา โดยเซนเซอร์ที่มีอยู่ตามจุดต่างๆ บนร่างกายมนุษย์สำหรับการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ต้องการและการส่งสัญญาณในร่างกาย เช่น การวัดค่าระดับความเข้มข้นของออกซิเจน การวัดค่าระดับการเต้นของหัวใจ การวัดค่าความดัน และระดับน้ำตาล เป็นต้น เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลหรือสัญญาณคำสั่งไปยังเซนเซอร์ที่จุดต่างๆ บนร่างกายมนุษย์ เพื่อที่จะดำเนินการตามคำสั่งที่ต้องการต่อไป [17] รูปที่ 2.5 จะแสดงการเชื่อมต่อโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์



รูปที่ 2.5 การเชื่อมต่อโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 เปรียบเทียบช่วงการสื่อสารของเทคโนโลยีไร้สาย [15]

จากรูปที่ 2.6 แสดงขอบเขตของระบบการสื่อสารไร้สายประเภทอื่นๆ จะเห็นว่าโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ได้นำเสนอวิธีการของการสื่อสารระยะสั้น เพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่อยู่บนร่างกายมนุษย์ โดยคำนึงถึงความปลอดภัยของร่างกายเป็นหลัก โดยสามารถนำมาใช้กับการสื่อสารทางการแพทย์ การดูแลสุขภาพ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บนร่างกายมนุษย์ได้อีกด้วย ซึ่งเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายบนร่างกายมนุษย์และระบบสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล มีเทคโนโลยีและแนวคิดที่ใกล้เคียงกัน แต่อย่างไรก็ตามยังคงมีบางส่วนที่แตกต่างกันเช่น อุปกรณ์ของการสื่อสารไร้สายบนร่างกายมนุษย์ที่สามารถอยู่บนร่างกายหรือภายในร่างกายมนุษย์ได้นั้นจะต้องมีความปลอดภัยกับอวัยวะและชิ้นส่วนของร่างกายมนุษย์ และในส่วนของช่องสัญญาณของการสื่อสารไร้สายบนร่างกายมนุษย์ ได้ถูกนำเสนอด้วยคุณลักษณะที่แตกต่างกับการสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล โดยเนื้อเยื่อของร่างกายมนุษย์เป็นตัวกลางซึ่งประกอบไปด้วยไขมัน น้ำที่มีความสูญเสียด้วย ทำให้การแพร่กระจายคลื่นของโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ถูกลดทอนเร็วกว่าในแบบอวกาศว่าง และรูปแบบของสายอากาศอาจจะมีผลกระทบกับร่างกายมนุษย์ ผลกระทบของร่างกายมนุษย์ทำให้สามารถกำหนดรูปแบบของช่องสัญญาณที่ใช้ในการออกแบบระบบที่มีประสิทธิภาพและเชื่อถือได้ ทั้งนี้ก็วิจัยต้องเผชิญกับงานที่ท้าทายความสามารถในการสร้างหรือออกแบบอุปกรณ์ดังกล่าว เช่น ต้องอยู่ในกฎระเบียบข้อบังคับรูปแบบช่องสัญญาณ การใช้พลังงานที่ต่ำ ผลกระทบของอุณหภูมิ สายอากาศและการสูญเสียบนร่างกายมนุษย์ การสื่อสารที่มีประสิทธิภาพ อัตราการส่งข้อมูลที่เหมาะสม และมีความน่าเชื่อถือสูง เป็นต้น

การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์และการดูแลสุขภาพทางการแพทย์ในการประยุกต์ใช้งานของโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์แบบไร้สายถูกใช้สำหรับรักษาดูแลสุขภาพ การตรวจวัดสมรรถนะของร่างกาย และการติดตามเฝ้าดูอาการผู้ป่วย โดยจะมีการติดตั้งเซนเซอร์ตำแหน่งต่างๆ ของร่างกายมนุษย์ โดยที่อุปกรณ์ดังกล่าวสามารถส่งสัญญาณข้อมูลกลับมายังผู้ใช้งานหรือแพทย์ผู้รักษาเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ หรือเฝ้าระวังอาการของผู้ป่วย เพื่อป้องกันและทำให้ตรวจวินิจฉัยโรคได้ทันทั่วทั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ทฤษฎีการส่งผ่านของฟรีสสำหรับแถบกว้างยิ่ง

ในระบบการสื่อสารไร้สาย สัญญาณที่เกิดขึ้นจากภาคส่งที่จะต้องนำไปป้อนให้สายอากาศ เพื่อแปลงสัญญาณไฟฟ้าไปเป็นสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับแพร่กระจายผ่านช่องสัญญาณซึ่งโดยทั่วไปคืออากาศ เมื่อสัญญาณเดินทางมาถึงภาครับก็จะมีสายอากาศรับสัญญาณซึ่งทำหน้าที่กลับกันจากภาคส่ง คือทำการแปลงสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากลับไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าอีกครั้ง ในการศึกษาถึงการแพร่กระจายของสัญญาณในระบบความถี่แถบกว้างยิ่ง โดยในระบบแถบความถี่แคบ (Narrowband) โดยปกติจะถูกกำหนดโดยใช้สูตรของฟรีส แต่จะไม่สามารถนำมาใช้ได้โดยตรงกับการส่งสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งจากสูตรจะมีข้อจำกัดในเรื่องของความถี่ แต่อย่างไรก็ตามรูปร่างของสัญญาณนั้นอาจจะผิดเพี้ยน เนื่องจากคุณสมบัติในการตอบสนองความถี่ของสายอากาศ จึงได้มีการปรับปรุงสมการของฟรีส เพื่อวิเคราะห์ความผิดเพี้ยนของสัญญาณ

โดยให้สัญญาณอินพุตแทนด้วย $v_i(t)$ และทำการคอนโวลูชันสัญญาณอินพุตด้วยสัญญาณที่ใช้ในการกรองความถี่ที่แทน $h_i(t)$ ดังนี้ [10, 11]

$$v_i(t) = E_i \delta(t) * h_i(t) \quad (2.5)$$

ซึ่ง

$$\int_{-\infty}^{\infty} h_i^2(t) dt = \int_{-\infty}^{\infty} |H_i(f)|^2 df = 1 \quad (2.6)$$

การปรับปรุงการส่งผ่านของฟรีสเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งข้อมูล จะได้ดังนี้

$$H_{\text{Friis}}(f) = H_f(f) \bar{H}_r(f) \cdot \bar{H}_t(f) \quad (2.7)$$

$$H_{\text{e-Friis}}(f) = H_f(f) H_i(f) \bar{H}_r(f) \cdot \bar{H}_t(f) \quad (2.8)$$

โดยที่

$H_{\text{e-Friis}}(f)$ คือการประยุกต์ฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณของฟรีส

$H_f(f)$ คือฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณในอวกาศ

$\bar{H}_t(f)$ คือฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณของสายอากาศตัวส่ง

$\bar{H}_r(f)$ คือฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณของสายอากาศตัวรับ

$H_i(f)$ คือฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณอินพุต

และสำหรับกรณีไอโซทรอปิก

$$H_{\text{e-Friis', Iso}}(f) = H_f(f) H_i(f) \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ระบบในการทดสอบช่องสัญญาณ

2.6.1 การทดสอบช่องสัญญาณในโดเมนความถี่

การทดสอบช่องสัญญาณในโดเมนความถี่จะใช้เครื่องมือหลักที่ใช้สำหรับการวัดคือเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้จัดการการทดสอบทั้งหมดโดยสัญญาณที่ใช้ตรวจสอบนั้นจะเป็นกลุ่มของสัญญาณแถบแคบรูปไซน์ (Sinusoid) ซึ่งทำการกวาดตลอดแถบความถี่ที่ต้องการพิจารณาประกอบการใช้สายอากาศแบบแถบกว้าง โดยในการออกแบบจำลองของช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งนั้น สามารถที่จะทำได้ในส่วนของกระบวนการประมวลผลข้อมูล และเมื่อใช้วิธีการทดสอบสัญญาณในโดเมนความถี่ช่วงเวลาช่องสัญญาณ ที่ทำการทดสอบความถี่ที่กำหนดให้คงที่เพื่อรักษาเงื่อนไขของช่องสัญญาณในช่วงการกวาดความถี่โดยที่ค่าสูงสุดของเวลาการกวาดความถี่สูงถูกจำกัดโดยเวลาร่วมกัน (Coherence time) ของช่องสัญญาณ ถ้าเวลาการกวาดนานกว่าเวลาร่วมกันของช่องสัญญาณแล้ว ช่องสัญญาณอาจจะเกิดการเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาในการกวาดความถี่สำหรับการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณที่เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว นั้น จึงจำเป็นต้องใช้เทคนิควิธีการอื่นๆ เข้ามาทำการตรวจสอบแทน ซึ่งประสิทธิภาพของการทดสอบในโดเมนความถี่นั้นจะถูกกำหนดโดยค่าสูงสุดของเวลาประวิงของช่องสัญญาณ ซึ่งขอบเขตด้านบนของเวลาประวิงที่ตรวจสอบ สามารถกำหนดโดย τ_{\max} จำนวนจุดของความถี่ที่ใช้ในการกวาดแต่ละครั้งและแบนด์วิดท์ B ซึ่งนิยามตามสมการที่ 2.10

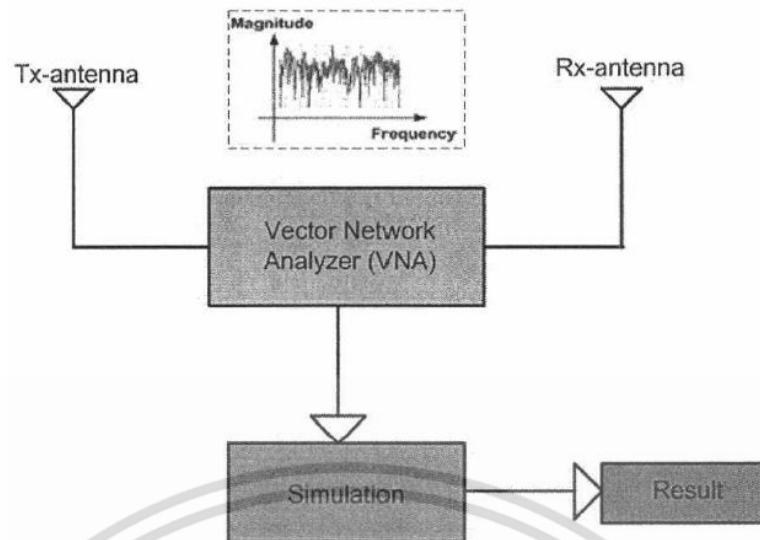
$$\tau_{\max} = \frac{(N_{\text{smp}} - 1)}{B} \quad (2.10)$$

โดยที่

N_{smp} คือจำนวนจุดความถี่

B คือแบนด์วิดท์

ในการที่จะทำการทดสอบสัญญาณโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์นั้น ผลที่ได้จากการทดสอบคือ ผลตอบสนองทางความถี่ของช่องสัญญาณที่ทำการทดสอบจากนั้นจะทำการแปลงฟูริเยร์เร็วผกผัน (Inverse fast fourier transform: IFFT) การแปลงข้อมูลจากการทดสอบที่โดเมนความถี่ให้อยู่ในรูปแบบผลตอบสนองอิมพัลส์ของโดเมนเวลาดังแสดงในรูปที่ 2.7

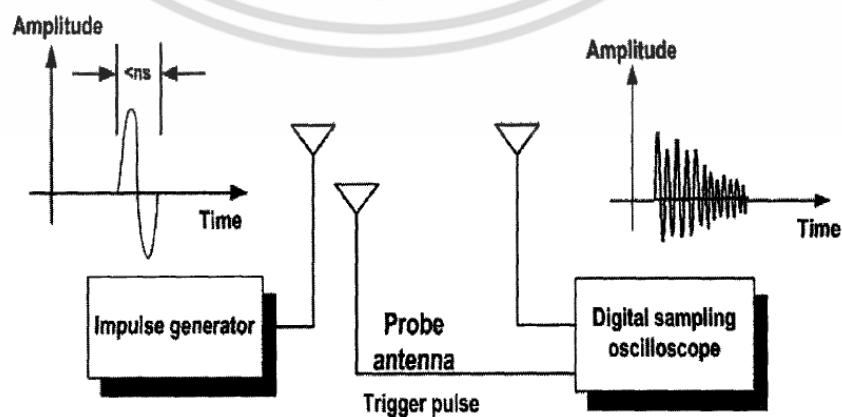


รูปที่ 2.7 ระบบการทดสอบช่องสัญญาณในโดเมนความถี่โดยเครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่ายแบบเวกเตอร์ และการแปลงฟูริเยร์เร็วผกผันในโดเมนเวลา [13]

2.6.2 การทดสอบช่องสัญญาณในโดเมนเวลา

ในการทดสอบช่องสัญญาณในโดเมนความถี่นั้น ไม่สามารถที่จะทำการทดสอบช่องสัญญาณในลักษณะที่ไม่คงที่ได้ (Non-stationary) จึงมีอีกวิธีการหนึ่งที่ถูกนำมาใช้เรียกว่าการทดสอบในโดเมนเวลาที่สามารถใช้ประโยชน์สำหรับแบบแถบกว้างยิ่งได้ดี

การทดสอบช่องสัญญาณวิทยุแถบกว้างยิ่งในโดเมนเวลานั้นจะเป็นลักษณะการส่งสัญญาณแบบทิศทางเดียว โดยจะใช้การส่งแบบพัลส์ที่มีขนาดแคบมากๆ ซึ่งเครื่องรับนั้นจะใช้ออสซิลโลสโคปที่มีการจัดเก็บข้อมูลแบบดิจิทัล โดยแบนด์วิดท์ของการทดสอบนั้นจะขึ้นอยู่กับรูปร่างและความกว้างของพัลส์ที่ใช้ ซึ่งผลของการเปลี่ยนแปลงความกว้างพัลส์นี้ยังส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงนั้นจะเปลี่ยนแปลงสเปกตรัมด้วย อย่างไรก็ตามการที่จะทราบถึงผลตอบสนองอิมพัลส์ของช่องสัญญาณนั้น จะทำการแยกสัญญาณพัลส์ที่ส่งออกจากผลการทดสอบโดยผลการจำลองช่องสัญญาณที่ถูกต้องนั้น สามารถทำได้หากสัญญาณพัลส์ที่ใช้ในการตรวจสอบมีลักษณะเป็นแบบเดียวกับสัญญาณที่ถูกนำมาใช้งานจริง ซึ่งโครงสร้างสำหรับการทดสอบในโดเมนเวลานั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การทดสอบช่องสัญญาณในโดเมนเวลา [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

ในการสื่อสารแบบไร้สายนั้น จำเป็นต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆ ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับของสัญญาณไม่ว่าจะเป็นระดับของกำลังงาน และเวลาประวิงที่เกิดขึ้นปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อสัญญาณที่รับได้ทั้งสิ้นเมื่อทำการส่งสัญญาณจากภาคส่งไปยังภาครับโดยผลที่เกิดขึ้นเหล่านี้จะต้องทำการตรวจสอบเบื้องต้นด้วยวิธีการทดสอบจากนั้นผลที่ได้จากการทดสอบ นั้นจำเป็นต้องนำมาเพื่อวิเคราะห์ตามขั้นตอนต่างๆ เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบ และการเปลี่ยนแปลงดังที่ได้กล่าวไปแล้วโดยใช้ขั้นตอนนี้มีความสำคัญพอๆ กับขั้นตอนการทดสอบซึ่งมีความจำเป็นต้องทำความเข้าใจในพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องและเชื่อถือได้ โดยในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงพารามิเตอร์ที่สำคัญๆ ดังนี้

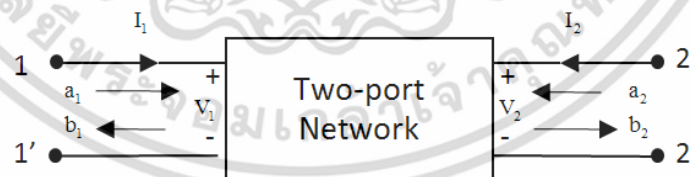
2.6.3.1 สัมประสิทธิ์การส่งผ่านช่องสัญญาณ

สำหรับขั้นตอนของการทดสอบนั้นจะเป็นลักษณะการหาค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (Transmission coefficient: S_{21}) สัญญาณจากพอร์ตที่หนึ่งไปยังพอร์ตที่สองของเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าว สามารถหาได้จากหลักการของพารามิเตอร์การกระจัดกระจาย (Scattering parameter) หรือเรียกว่า S-parameter ซึ่งมีนิยามตามเมตริกซ์การกระจัดกระจาย (Scattering matrix) ของโครงข่ายแบบ 2 พอร์ต ดังสมการที่ 2.11 และแสดงในรูปที่ 2.9

$$\bar{b} = \bar{S} \bar{a} \quad (2.11)$$

โดยที่

- \bar{a} คือเวกเตอร์การส่งผ่าน
- \bar{b} คือเวกเตอร์การสะท้อน
- \bar{S} คือเวกเตอร์การกระจาย



รูปที่ 2.9 บล็อกไดอะแกรมโครงข่ายแบบ 2 พอร์ต [13]

ซึ่งสามารถแสดงให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์ดังสมการที่ 2.12 และ 2.13

$$\bar{a} = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\bar{b} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

โดยที่

- a_1 คือสัญญาณที่ส่งผ่านเข้าไปยังพอร์ตหนึ่ง
- b_1 คือสัญญาณที่สะท้อนกลับมายังพอร์ตหนึ่ง
- a_2 คือสัญญาณที่ส่งผ่านเข้าไปยังพอร์ตสอง
- b_2 คือสัญญาณที่สะท้อนกลับมายังพอร์ตสอง

ซึ่งสัมประสิทธิ์ดังกล่าวนี้สามารถหาได้จาก

$$a_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{V_1}{\sqrt{Z_0}} + \sqrt{Z_0} I_1 \right) \quad (2.14ก)$$

$$b_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{V_1}{\sqrt{Z_0}} - \sqrt{Z_0} I_1 \right) \quad (2.14ข)$$

$$a_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{V_2}{\sqrt{Z_0}} + \sqrt{Z_0} I_2 \right) \quad (2.14ค)$$

$$b_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{V_2}{\sqrt{Z_0}} - \sqrt{Z_0} I_2 \right) \quad (2.14ง)$$

$$\bar{S} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

จากสมการที่ 2.12, 2.13, 2.14 และ 2.15 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการกระจายดังสมการที่ 2.16 และ 2.17

$$b_1 = a_1 S_{11} + a_2 S_{12} \quad (2.16)$$

$$b_2 = a_1 S_{21} + a_2 S_{22} \quad (2.17)$$

โดยที่

S_{11} คือสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่พอร์ตหนึ่ง

S_{22} คือสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่พอร์ตสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S_{12} คือสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (Forward)

S_{21} คือสัมประสิทธิ์การส่งผ่านผกผัน (Reverse)

สำหรับพารามิเตอร์ของการกระจายของเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบสองพอร์ตนั้นยังสามารถที่จะกำหนดในเทอมของคลื่นส่งผ่านและคลื่นสะท้อนได้ดังนี้

$$S_{11} = \left. \frac{b_1}{a_1} \right|_{a_2=0} \quad (2.18ก)$$

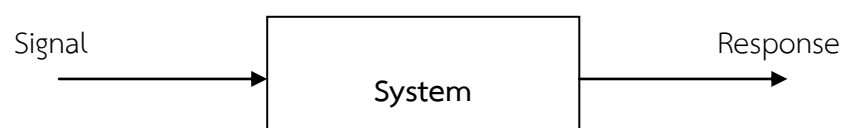
$$S_{21} = \left. \frac{b_2}{a_1} \right|_{a_2=0} \quad (2.18ข)$$

$$S_{12} = \left. \frac{b_1}{a_2} \right|_{a_1=0} \quad (2.18ค)$$

$$S_{22} = \left. \frac{b_2}{a_2} \right|_{a_1=0} \quad (2.18ง)$$

2.6.3.2 ผลตอบสนองความถี่ของช่องสัญญาณ

เมื่อทดสอบช่องสัญญาณโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ จะต้องเข้าใจในเรื่องของระบบและสัญญาณโดยระบบคือกลุ่มที่อยู่รวมกัน ซึ่งจะต้องสามารถทำงานร่วมกันเพื่อให้เกิดความสำเร็จตามจุดมุ่งหมายที่ต้องการ โดยสัญญาณคือปริมาณทางกายภาพบางอย่างที่ถูกป้อนเข้าสู่ระบบเรียกว่า สัญญาณเข้าหรือสัญญาณอินพุต (Input signal) ของระบบ และสัญญาณออกหรือสัญญาณเอาต์พุต (Output signal) ซึ่งเป็นปริมาณทางกายภาพที่ออกมาจากระบบ หรือเรียกผลตอบสนอง (Response) ของระบบ โดยสามารถแสดงบล็อกไดอะแกรมของการวิเคราะห์การถ่ายโอนระบบดังรูปที่ 2.8 ซึ่งผลตอบสนองดังกล่าวได้แสดงถึงคุณสมบัติของระบบ และจากการทดสอบผลที่ได้ก็คือค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านสัญญาณนั้นจะแปรผันตรงกับฟังก์ชันถ่ายโอนทางความถี่ (Frequency transfer function: $H(\omega)$) ของช่องสัญญาณโดยฟังก์ชันถ่ายโอนทางความถี่ดังกล่าว นั้นจะแสดงให้เห็นถึงผลตอบสนองความถี่ของช่องสัญญาณที่ทำการพิจารณาจะประกอบด้วยขนาดสัญญาณที่ส่งผ่าน และผลตอบสนองทางเฟส (Phase response) ของสัญญาณโดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านสัญญาณกับฟังก์ชันถ่ายโอนของช่องสัญญาณสามารถกำหนดตามสมการที่ 2.19 และแสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 บล็อกไดอะแกรมของการวิเคราะห์การถ่ายโอนระบบ [13]

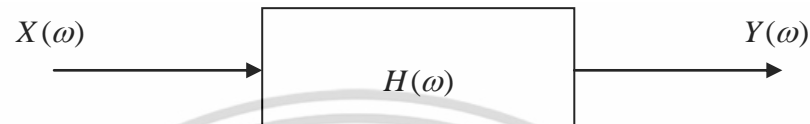
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่โดยเว็บไซต์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$S_{21}(\omega) \propto H(\omega) = \frac{Y(\omega)}{X(\omega)} \quad (2.19)$$

โดยที่

$Y(\omega)$ คือเอาต์พุตของระบบในโดเมนความถี่

$X(\omega)$ คืออินพุตของระบบในโดเมนความถี่



รูปที่ 2.11 ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของระบบในโดเมนความถี่ [13]

2.6.3.3 ผลตอบสนองอิมพัลส์ของช่องสัญญาณ

การแสดงถึงคุณสมบัติของช่องสัญญาณ สามารถทำได้หลายวิธีโดยหนึ่งในนั้นที่นิยมก็คือ การแสดงด้วยค่าผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบ โดยจะเริ่มด้วยขอกกล่าวถึงคำนิยามของฟังก์ชันอิมพัลส์ดังนี้

ฟังก์ชันอิมพัลส์จะไม่เหมือนกับฟังก์ชันทั่วไป โดยฟังก์ชันอิมพัลส์หนึ่งหน่วยมักนิยามแทนด้วยสัญลักษณ์ $\delta(t)$ และมีคุณสมบัติดังนี้คือ

$$\int_a^b f(t)\delta(t-t_0)dt = \begin{cases} f(t_0), & a < t_0 < b \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.20)$$

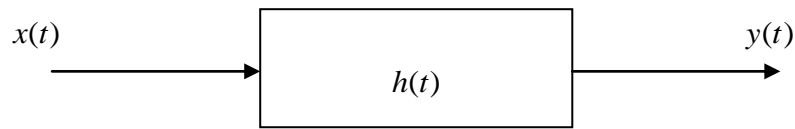
โดยในที่นี้ $f(t)$ จะต้องเป็นฟังก์ชันที่มีค่าต่อเนื่อง (Continuous) ที่ค่าเวลา $t = t_0$ จากสมการที่ 2.21 และเมื่อกำหนดให้ $f(t) = 1$ จะได้

$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t-t_0)dt = 1 \quad (2.21)$$

จากผลการทำปริพันธ์ฟังก์ชันใดๆ นั้น มีผลเท่ากับพื้นที่ใต้เส้นโค้งที่แสดงค่าฟังก์ชันนั้นมาช่วยอธิบายใน 2.21 จะกล่าวได้ว่าพื้นที่ใต้เส้นโค้งมีค่า 1 หน่วย โดยค่าที่ได้จากการทำปริพันธ์จะเรียกว่าน้ำหนัก (Weight) ของฟังก์ชันพัลส์นั้นๆ ดังนั้นจะพบว่าน้ำหนักของฟังก์ชันมีค่าเท่ากับหน่วยฟังก์ชันพัลส์ที่มีน้ำหนัก 1 หน่วย ฟังก์ชันอิมพัลส์หนึ่งหน่วย (Unit impulse function) แม้ว่าฟังก์ชันอิมพัลส์นั้นไม่สามารถสร้างได้จริงในทางปฏิบัติ แต่ในทางทฤษฎีจะมีบทบาทในการวิเคราะห์สัญญาณและระบบโดยเฉพาะการบอกคุณสมบัติของระบบอีกทั้งสัญญาณอินพุตที่เป็นฟังก์ชันอิมพัลส์หนึ่งหน่วยนั้นจะถูกนิยามซึ่งเรียกว่าผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบใช้สัญลักษณ์ แทนผลตอบสนองดังกล่าว ซึ่งผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบสามารถใช้เป็นตัวแทนของระบบได้ เพราะสามารถบอกคุณสมบัติของระบบนั้นๆ และโดยเฉพาะเมื่อระบบภายใต้การพิจารณาเป็นระบบเชิงเส้นไม่เปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนวิชาสำหรับการทำงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามเวลา (Linear time invariance system) ค่าเอาต์พุตของระบบที่เกิดจากสัญญาณอินพุตใดๆ จะสามารถเขียนเป็นสัมพันธ์ได้รูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของระบบในโดเมนเวลา [13]

2.7 สัญญาณรับแบบแถบกว้างยิ่ง

ความหนาแน่นของสเปกตรัมสัญญาณที่รับได้ หรือสัญญาณที่รับได้ในโดเมนความถี่นั้น สามารถวิเคราะห์ได้จากการนำความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณส่งคูณกับฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณ ซึ่งฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณนั้นสามารถหาได้จากการทดลองวัด ซึ่งความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณที่รับได้ จะแสดงได้ดังสมการนี้ที่ 2.22 [10]

$$V_r(f) = V_t(f)H_c(f) \quad (2.22)$$

โดย

$V_t(f)$ คือความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณส่ง

$H_c(f)$ คือฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณ

และเมื่อทำการพิจารณาสัญญาณที่รับได้ในโดเมนเวลา สามารถทำการวิเคราะห์โดยการแปลงฟูริเยร์เร็วผกผันของความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณที่รับได้ โดยสัญญาณที่รับได้ในโดเมนเวลา $v_r(t)$ แสดงได้ดังสมการที่ 2.23

$$v_r(t) = \int_{-\infty}^{\infty} V_r(f)e^{j2\pi ft} df \quad (2.23)$$

2.8 การจำลองการสูญเสียเชิงวิถี

การสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) เป็นการลดทอนของสัญญาณที่แปรตามระยะทางระหว่างภาคส่งและภาครับ โดยที่ค่าเฉลี่ยกำลังของสัญญาณจะลดลงตามค่า d^{-n} โดย d คือระยะทางระหว่างภาคส่งและภาครับส่วน n เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งมีขนาดแตกต่างกันไปตามสภาพของบริเวณที่สัญญาณส่งผ่าน โดยค่าการสูญเสียเชิงวิถีนั้นอาจจะเกิดขึ้นเนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ

ในระบบสื่อสารไร้สาย สัญญาณที่กำเนิดขึ้นจากภาคส่งที่จะต้องนำไปป้อนเข้าสายอากาศเพื่อแปลงสัญญาณไฟฟ้าไปเป็นสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic wave) สำหรับแพร่กระจายผ่านช่องสัญญาณซึ่งโดยทั่วไปก็คืออากาศ เมื่อสัญญาณเดินทางมาถึงภาครับก็จะมีสายอากาศรับสัญญาณซึ่งทำหน้าที่กลับกันจากภาคส่ง คือทำการแปลงสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

กลับเป็นสัญญาณไฟฟ้าอีกครั้ง ในการศึกษาเรื่องการแพร่กระจายสัญญาณจะเริ่มพิจารณาจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งแพร่สัญญาณแบบทุกทิศทาง (Isotropic radiator) โดยในการส่งคลื่นสัญญาณผ่านอวกาศว่างนั้น มักจะนิยามให้ค่าการสูญเสียเชิงวิถีในอวกาศว่าง (Free space path loss) มีค่าเป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังงานของสัญญาณที่รับได้ต่อกำลังงานของสัญญาณที่ถูกส่งออกมา [12] ซึ่งมีความสัมพันธ์ตามสมการที่ 2.24 โดยสมการความสัมพันธ์ที่ได้จะเรียกกันทั่วไปว่าสมการการส่งผ่านของฟรีส

$$\frac{P_R}{P_T} = G_T G_R \left[\frac{\lambda}{4\pi d} \right]^2 \quad (2.24)$$

โดยที่

P_R คือกำลังงานของสัญญาณที่รับได้

P_T คือกำลังงานของสัญญาณที่ส่งออกมา

G_T คืออัตราขยายของสายอากาศส่ง

G_R คืออัตราขยายของสายอากาศรับ

λ คือค่าความยาวคลื่นซึ่ง $\lambda = \frac{c}{f}$

c คือความเร็วแสง (3×10^8 m/s)

f คือความถี่ของสัญญาณ (Hz)

d คือระยะทางระหว่างภาคส่งและภาครับ (เมตร)

ค่าการสูญเสียกำลังงานของสัญญาณในอวกาศว่างโดยทั่วไปแล้วจะคิดค่าเป็นหน่วยของเดซิเบล (dB) ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} L_{\text{dB}} &= 10\log(P_T) - 10\log(P_R) \\ &= 32.44 + 20\log(f) + 20\log(d) - 10\log(G_T) - 10\log(G_R) \end{aligned} \quad (2.25)$$

ซึ่ง d มีหน่วยเป็น km และ f มีหน่วยเป็น MHz จากสมการนี้จะเห็นได้ว่าค่าการสูญเสียของสัญญาณจะเพิ่มตามระยะทางและค่าความถี่ของคลื่นสัญญาณ ถ้า P_T จุดกำเนิดกำลังงาน (Point source) แล้วความหนาแน่นกำลังงานของสัญญาณที่ตำแหน่งห่างออกไป d จะมีค่าเท่ากับ

$$p(d) = \frac{P_T}{4\pi d^2} \quad (2.26)$$

โดยที่

$4\pi d^2$ คือพื้นผิวของทรงกลมที่มีรัศมีเท่ากับ d

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 การสูญเสียกำลังงาน

ในระบบการสื่อสารไร้สายนั้น เป้าหมายหลักการของการจำลองการแพร่กระจายคลื่นคือการคาดการณ์ถึงค่าความสูญเสียกำลังงานของสัญญาณ PL เนื่องจากการแพร่กระจายผ่านช่องสัญญาณโดยพิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างระดับกำลังงานที่ใช้ส่งและระดับกำลังงานที่รับได้ ซึ่งโดยทั่วไปมักจะแสดงให้อยู่ในหน่วยของเดซิเบล (dB) [14] ดังแสดงในสมการที่ 2.27

$$PL[dB] = 20 \log \left[\frac{|v_t(t)|}{|v_r(t)|} \right] \quad (2.27)$$

โดยที่

v_t คือ ระดับสัญญาณที่ใช้ส่ง

v_r คือ ระดับสัญญาณที่รับได้

โดยในการวิเคราะห์การสูญเสียของกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่ง PL นั้น จะพิจารณาที่ กำลังสูงสุดของสัญญาณที่ใช้ส่งและสัญญาณที่รับได้ ซึ่งเป็นฟังก์ชันของระยะทาง (d) และสามารถเขียนสมการสูญเสียของกำลังงานสัญญาณได้ดังสมการที่ 2.28 [14]

$$PL[dB] = -20 \log \left[|v_r(t)| \right] \quad (2.28)$$

บทที่ 3

แบบแผนการทดลองวิจัย

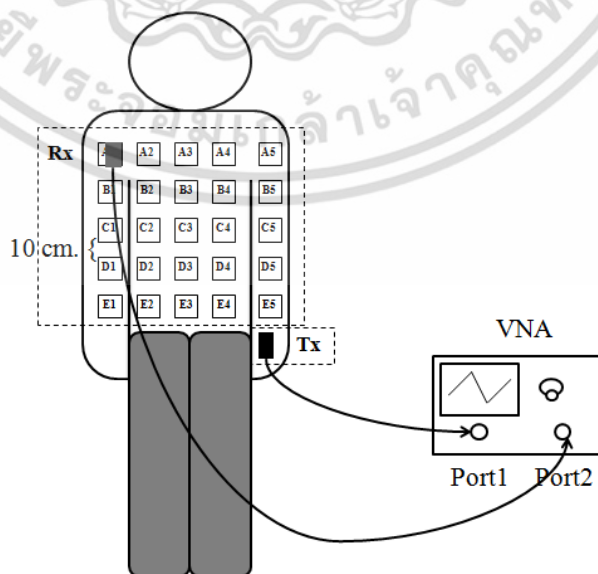
3.1 การออกแบบจำลองการวัดช่องสัญญาณ

3.1.1 รูปแบบของการวัดผลการทดลอง

การวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์จะทำงานในรูปแบบของการวัดค่า โดยที่พอร์ตที่ 1 คือพอร์ตการส่ง (Tx) และพอร์ตที่ 2 คือพอร์ตการรับ (Rx) ตามลำดับ ในการทดลองเราจะทำการวัดค่าผลการทดลองจากหลายๆ ตำแหน่งบนร่างกายมนุษย์ สำหรับการออกแบบการวัดผลการทดลองของงานวิจัยนี้ สามารถแบ่งแบบจำลองการวัดออกเป็น 2 แบบคือการวางสายอากาศด้านรับและด้านส่งที่ใช้ในการวัดจากตำแหน่งต่างๆ บนร่างกายมนุษย์ทั้งเพศชายและเพศหญิง เป็นแบบแนวตั้งกับแนวตั้งและแบบแนวนอนกับแนวนอน ซึ่งจะมีรูปแบบดังนี้

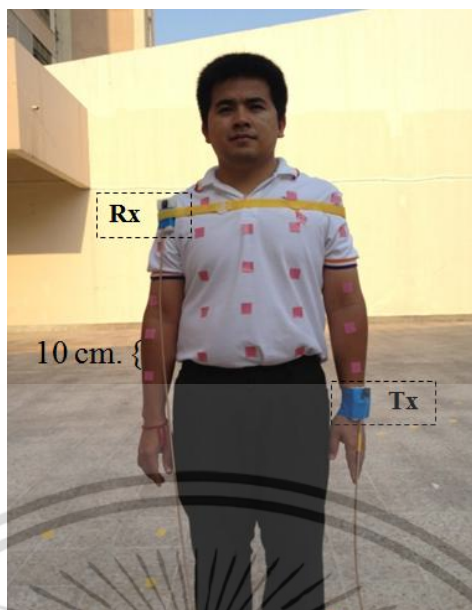
3.1.1.1 แบบจำลองการวางสายอากาศด้านรับและด้านส่งแนวตั้งกับแนวตั้ง

แบบจำลองนี้จะทำการติดตั้งสายอากาศที่ใช้ในการวัดทั้งภาครับและภาคส่งในลักษณะแนวตั้งกับแนวตั้งทั้งเพศชายและเพศหญิง โดยที่สายอากาศภาคส่งจะติดตั้งที่ไว้ที่ข้อมือด้านซ้าย ในส่วนของสายอากาศภาครับจะวัดไปตามตำแหน่งต่างๆ จำนวนรวม 25 ตำแหน่ง จะแบ่งออกเป็น 5 แถว แถวละ 5 ตำแหน่ง กำหนดค่าเริ่มต้นจากตำแหน่ง A1 ถึงตำแหน่ง A5 เป็นแถวที่ 1 และสิ้นสุดที่แถวสุดท้ายคือจากตำแหน่ง E1 ถึงตำแหน่ง E5 โดยจะกำหนดให้ระยะห่างของแต่ละตำแหน่งบนร่างกายคือ 10 เซนติเมตร ซึ่งสามารถแสดงแบบจำลองสำหรับการวัดที่ตำแหน่งต่างๆ บนร่างกายมนุษย์โดยการวางสายอากาศในลักษณะแนวตั้งกับแนวตั้งได้ดังรูปที่ 3.1 และจะแสดงแบบจำลองจริงสำหรับการวัดที่ตำแหน่งต่างๆ บนร่างกายมนุษย์ที่ได้ทำการทดลองสำหรับเพศชายและเพศหญิง ดังรูปที่ 3.2 และ 3.3



รูปที่ 3.1 แบบจำลองการวัดโดยการวางสายอากาศในลักษณะแนวตั้งกับแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 การวัดจริงโดยการวางสายอากาศในลักษณะแนวตั้งกับแนวตั้งกรณีเพศชาย

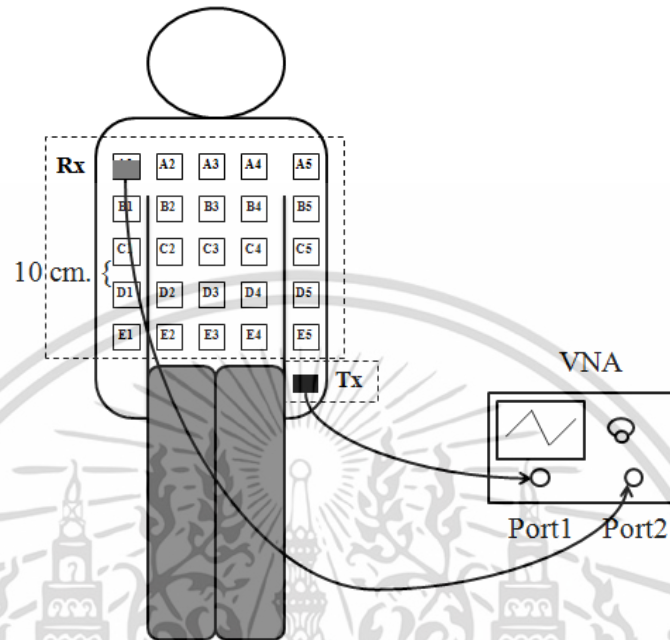


รูปที่ 3.3 การวัดจริงโดยการวางสายอากาศในลักษณะแนวตั้งกับแนวตั้งกรณีเพศหญิง

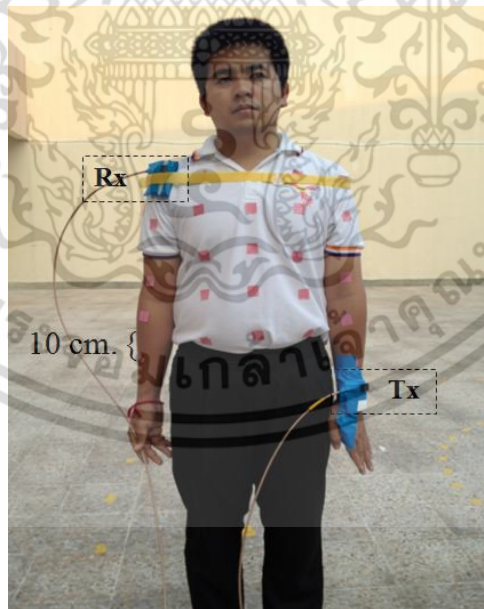
3.1.1.2 แบบจำลองการวางสายอากาศด้านรับและด้านส่งแนวนอนกับแนวนอน

แบบจำลองนี้จะทำการติดตั้งสายอากาศที่ใช้ในการวัดทั้งภาครับและภาคส่งในลักษณะแนวนอนกับแนวนอนทั้งเพศชายและเพศหญิง โดยที่สายอากาศภาคส่งจะติดตั้งไว้ที่ข้อมือด้านซ้าย ในส่วนของสายอากาศภาครับจะวัดไปตามตำแหน่งต่างๆ จำนวนรวม 25 ตำแหน่ง จะแบ่งออกเป็น 5 แถว แถวละ 5 ตำแหน่ง กำหนดค่าเริ่มต้นจากตำแหน่ง A1 ถึงตำแหน่ง A5 เป็นแถวที่ 1 และสิ้นสุดที่แถวสุดท้ายคือจากตำแหน่ง E1 ถึงตำแหน่ง E5 โดยจะกำหนดให้ระยะห่างของแต่ละตำแหน่งบนร่างกายคือ 10 เซนติเมตร ซึ่งสามารถแสดงแบบจำลองสำหรับการวัดที่ตำแหน่งต่างๆ บนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร่างกายมนุษย์โดยการวางสายอากาศในลักษณะแนวนอนกับแนวนอนได้ดังรูปที่ 3.4 และจะแสดงแบบจำลองจริงสำหรับการวัดที่ตำแหน่งต่างๆ บนร่างกายมนุษย์ที่ได้ทำการทดลองสำหรับเพศชาย และเพศหญิง ดังรูปที่ 3.5 และ 3.6

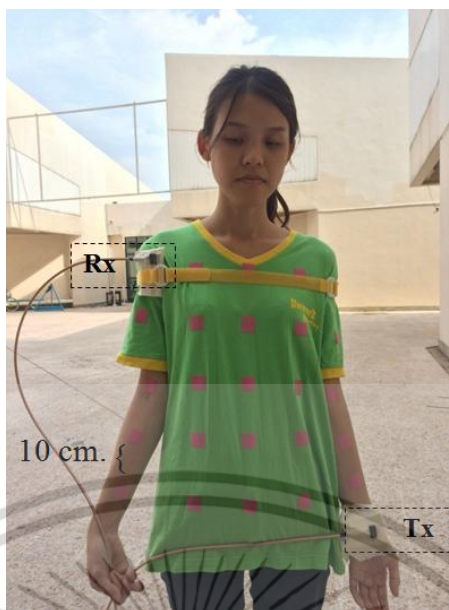


รูปที่ 3.4 แบบจำลองการวัดโดยการวางสายอากาศในลักษณะแนวนอนกับแนวนอน



รูปที่ 3.5 การวัดจริงโดยการวางสายอากาศในลักษณะแนวนอนกับแนวนอนกรณีเพศชาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 การวัดจริงโดยการวางสายอากาศในลักษณะแนวนอนกับแนวนอนกรณีเพศหญิง

3.1.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการทดลองนี้แสดงในตารางที่ 3.1 โดยได้จำลองการทดลองในช่วงความถี่ 3 กิกะเฮิร์ตถึง 5 กิกะเฮิร์ต ใช้จำนวนจุดของความถี่เท่ากับ 801 จุด และใช้สายอากาศแบบเส้นตัวนำคดเคี้ยว สำหรับพิจารณาแบบจำลองกรณีการวางสายอากาศด้านรับและด้านส่งที่ใช้ในการวัดจากตำแหน่งต่างๆ บนร่างกายมนุษย์ในลักษณะที่แตกต่างกันเป็นแบบแนวตั้งกับแนวตั้งและแบบแนวนอนกับแนวนอน

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์สำหรับการทดลองกรณีการวางสายอากาศด้านรับและด้านส่งเป็นแบบแนวตั้งกับแนวตั้งและแบบแนวนอนกับแนวนอน

พารามิเตอร์	ค่า
ช่วงความถี่	3 GHz – 5 GHz
จำนวนจุดความถี่	801 จุด
ชนิดของสายอากาศ	แบบเส้นตัวนำคดเคี้ยว
จำนวนตำแหน่งที่วัดค่า	25 ตำแหน่ง
ลักษณะการวางสายอากาศด้านรับและด้านส่ง	แนวตั้งกับแนวตั้ง และแนวนอนกับแนวนอน

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 เครื่องวิเคราะห์ที่โครงข่ายแบบเวกเตอร์

องค์ประกอบหลักของการทดสอบช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งประกอบด้วย 3 ส่วน คือ เครื่องวิเคราะห์ข่ายแบบเวกเตอร์รุ่น HP-8510C ชุดทดสอบพารามิเตอร์การกระจาย รุ่น HP-8514B และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องสังเคราะห์ความถี่ (Frequency synthesized sweeper) รุ่น HP-83620A แสดงดังรูปที่ 3.8 ซึ่งจะถูกรับควบคุมโดยเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ที่เชื่อมต่อผ่านช่องสื่อสารแบบ GPIB (General purpose interface bus) อุปกรณ์ชนิดนี้มีคุณสมบัติที่สามารถทดสอบสัญญาณในโครงข่ายหนึ่งพอร์ตและสองพอร์ต ในการทดสอบครั้งนี้ ได้ทำการทดสอบแบบสองพอร์ต โดยพอร์ตที่หนึ่งเป็นพอร์ตที่ใช้ในการส่งสัญญาณ และพอร์ตที่สองใช้ในการรับสัญญาณ ซึ่งปลายของพอร์ตทั้งสองจะถูกเชื่อมต่อกับสายอากาศ เพื่อทำการทดสอบในโดเมนความถี่ และนำผลการทดสอบไปทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

จากเครื่องวิเคราะห์ข่ายแบบเวกเตอร์ที่ใช้สำหรับการวัดดังรูปที่ 3.7 สามารถจำแนกอุปกรณ์ได้ดังนี้

- 1) จอแสดงผล
- 2) ชุดทดสอบพารามิเตอร์การกระจาย
- 3) เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบสองพอร์ต
- 4) เครื่องสังเคราะห์ความถี่



รูปที่ 3.7 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์

3.2.2 สายอากาศ

สายอากาศเป็นอีกหนึ่งอุปกรณ์ที่จำเป็นในการสื่อสารแบบไร้สาย ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่จะเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าจากเครื่องส่งให้เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแพร่กระจายผ่านอากาศไปยังสายอากาศทางด้านรับ แล้วสายอากาศทางด้านรับจะทำหน้าที่แปลงสัญญาณกลับมาเป็นสัญญาณไฟฟ้าตามเดิม การทดสอบครั้งนี้ได้ใช้สายอากาศแบบเส้นตัวนำคดเคี้ยว ทั้งสายอากาศทางด้านส่ง (Tx) และด้านรับ (Rx) ซึ่งเป็นสายอากาศที่มีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัว และเป็นสายอากาศที่รองรับการใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

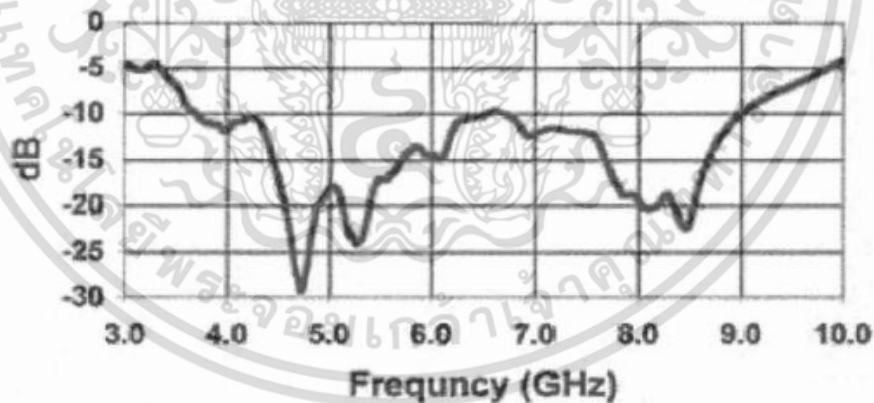
งานในความถี่ช่วง 3.1 กิกะเฮิรต์ถึง 10.6 กิกะเฮิรต์ ตามข้อกำหนดย่านความถี่การใช้งานของ สัญญาณแถบกว้างยิ่งของ FCC

3.2.2.1 สายอากาศแบบเส้นตัวนำคดเคี้ยว

สายอากาศเส้นตัวนำคดเคี้ยว เป็นสายอากาศที่ถูกออกแบบมาเพื่อการใช้งานในช่วง สัญญาณความถี่แถบกว้างยิ่ง ซึ่งผลิตโดยบริษัทสกายครอส (Sky cross company) ของประเทศ สหรัฐอเมริกา สายอากาศชนิดนี้มีขนาดเล็กและเฟสความถี่เป็นเชิงเส้นตลอดทุกช่วงความถี่ตั้งแต่ 3.1 กิกะเฮิรต์ถึง 10.6 กิกะเฮิรต์ ซึ่งเป็นสายอากาศแถบกว้าง (Wide bandwidth antenna) และมี รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบรอบตัว มีลักษณะโครงสร้าง และสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ ของสายอากาศแบบเส้นตัวนำคดเคี้ยว แสดงในรูปที่ 3.8 และ 3.9 ตามลำดับ และได้แสดงรูปแบบ การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบเส้นตัวนำคดเคี้ยว ดังรูปที่ 3.10

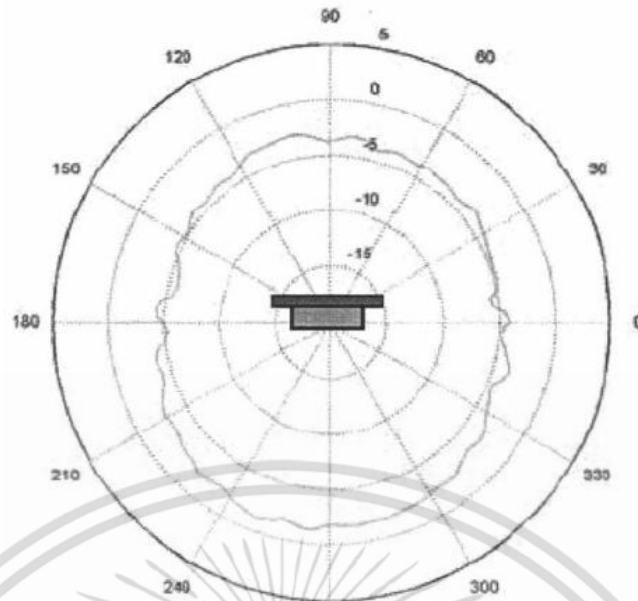


รูปที่ 3.8 สายอากาศแบบเส้นตัวนำคดเคี้ยว [13]



รูปที่ 3.9 สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศแบบเส้นตัวนำคดเคี้ยว [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Gain at 5.25 GHz, Theta = 0

รูปที่ 3.10 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ [13]

3.3 รูปคลื่นสัญญาณที่ใช้ในการส่ง

รูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยม (The rectangular passband waveform) ถูกพิจารณาในการวิเคราะห์ข้อมูล จะแสดงดังรูปที่ 3.11 แสดงรูปแบบของพัลส์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ โดยมีฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมของรูปคลื่นแบบแถบสี่เหลี่ยมกำหนดโดยสมการที่ 3.1 และ 3.2 [16]

$$v_t(t) = \frac{A}{f_b} [f_{\max} \sin c(2f_{\max} t) - f_{\min} \sin c(2f_{\min} t)] \quad (3.1)$$

ซึ่งค่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของรูปคลื่นที่ใช้ในการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้าง
 ยิงคือ

$$V_t(f) = \begin{cases} \frac{A}{2f_b}; & |f - f_c| \leq \frac{f_b}{2} \\ 0; & |f - f_c| > \frac{f_b}{2} \end{cases} \quad (3.2)$$

โดยที่

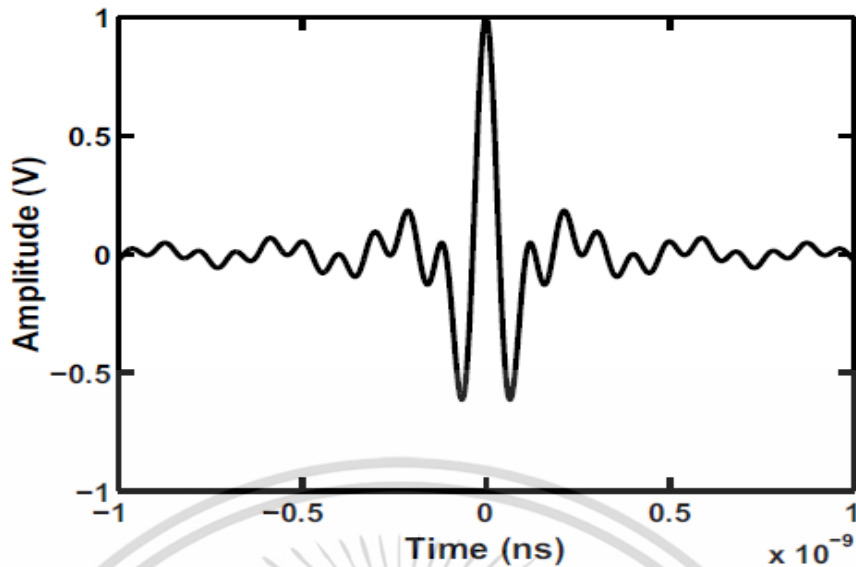
A คือแอมพลิจูดสูงสุด

f_b คือแบนด์วิดท์

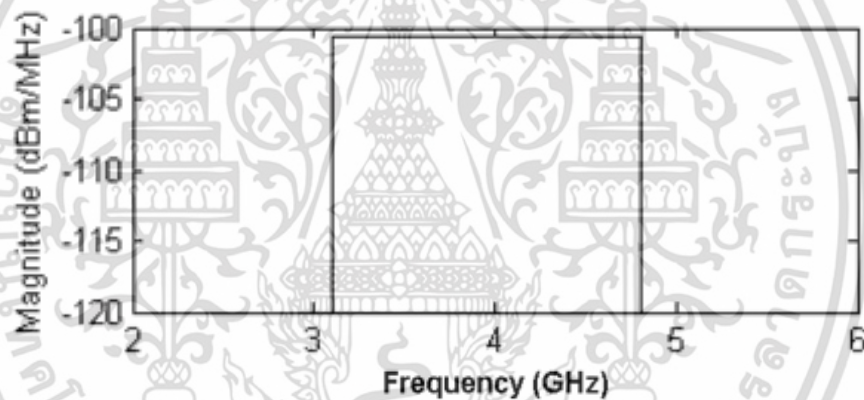
f_{\max} คือความถี่สูงสุด

f_{\min} คือความถี่ต่ำสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 รูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมในโดเมนเวลา [16]



รูปที่ 3.12 สเปกตรัมของสัญญาณที่ใช้ในการส่ง [16]

3.4 ขั้นตอนการทดลอง

3.4.1 ขั้นตอนการวัดการวางสายอากาศด้านรับและด้านส่งแบบแนวตั้งกับแนวตั้ง

โดยขั้นตอนจะเริ่มจากการปรับตั้งค่าเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ตามพารามิเตอร์ที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งจะทำการทดลองที่ช่วงความถี่ 3 กิกกะเฮิร์ตถึง 5 กิกกะเฮิร์ต และใช้สายอากาศแบบเส้นตัวนำคดเคี้ยว สำหรับพิจารณาแบบจำลองการวางสายอากาศด้านรับและด้านส่งในลักษณะแนวตั้งกับแนวตั้ง ทำการติดตั้งสายอากาศภาคส่งจะติดตั้งไว้ที่ข้อมือด้านซ้ายให้สายอากาศอยู่ในลักษณะแนวตั้ง ส่วนสายอากาศภาครับติดตั้งตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ตามแบบจำลองจำนวนรวม 25 ตำแหน่งในลักษณะแนวตั้งเช่นเดียวกัน โดยจะทำการวัดผลตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ไปที่ละตำแหน่ง เริ่มจากตำแหน่ง A1 ถึงตำแหน่ง E5 ซึ่งระยะห่างของแต่ละตำแหน่งบนร่างกายเท่ากับ 10 เซนติเมตร ทำการวัดผลด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์จนครบ 25 ตำแหน่งตามแบบจำลองทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชายและเพศหญิงและทำการบันทึกผลที่วัดได้ จากนั้นนำผลที่บันทึกไว้มาทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยอ้างอิงตามทฤษฎีที่ได้ทำการศึกษาและเลือกใช้สำหรับงานวิจัยนี้

3.4.2 ขั้นตอนการวัดการวางสายอากาศด้านรับและด้านส่งแบบแนวนอนกับแนวนอน

โดยขั้นตอนจะเริ่มจากการปรับตั้งค่าเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ตามพารามิเตอร์ที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งจะทำการทดลองที่ช่วงความถี่ 3 กิกะเฮิร์ตถึง 5 กิกะเฮิร์ต และใช้สายอากาศแบบเส้นตัวนำคดเคี้ยว แบบเดียวกับแนวตั้งกับแนวตั้งในการพิจารณาแบบจำลองการวางสายอากาศด้านรับและด้านส่งในลักษณะแนวนอนกับแนวนอน ทำการติดตั้งสายอากาศภาคส่งจะติดตั้งที่ไว้ที่ข้อมือด้านซ้ายให้สายอากาศอยู่ในลักษณะแนวนอน ส่วนสายอากาศภาครับติดตั้งตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ตามแบบจำลองจำนวนรวม 25 ตำแหน่งในลักษณะแนวนอนเช่นเดียวกัน โดยจะทำการวัดผลตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ไปที่ละตำแหน่งเริ่มจากตำแหน่ง A1 ถึงตำแหน่ง E5 ซึ่งระยะห่างของแต่ละตำแหน่งบนร่างกายเท่ากับ 10 เซนติเมตร ทำการวัดผลด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์จนครบ 25 ตำแหน่งตามแบบจำลองทั้งเพศชายและเพศหญิงและทำการบันทึกผลที่วัดได้ จากนั้นนำผลที่บันทึกไว้มาทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยอ้างอิงตามทฤษฎีที่ได้ทำการศึกษาและเลือกใช้สำหรับงานวิจัยนี้



รูปที่ 3.13 สภาวะแวดล้อมจริงในการวัดช่องสัญญาณบนร่างกายมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

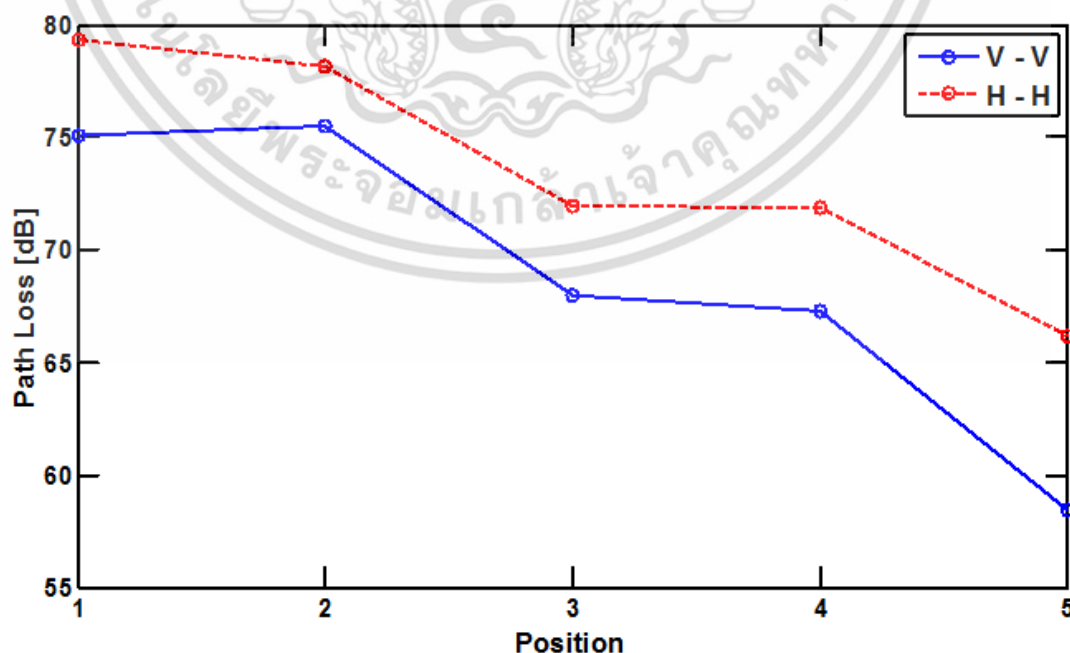
ผลการทดลอง

จากบทที่ผ่านมานั้นได้กล่าวถึงรูปแบบการวัดผลการทดลองและการตั้งค่าการทดลอง โดยการออกแบบการวัดผลการทดลองนั้น สามารถแบ่งแบบจำลองการวัดออกเป็น 2 รูปแบบคือการวางสายอากาศด้านรับและด้านส่งที่ใช้ในการวัดจากตำแหน่งต่างๆ บนร่างกายมนุษย์เป็นแบบแนวตั้งกับแนวตั้ง (Vertical-vertical: V-V) และแบบแนวนอนกับแนวนอน (Horizontal-horizontal: H-H) สำหรับใช้ทำการวัดทั้งเพศชายและเพศหญิง ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงผลของการทดลองและการนำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกันระหว่างแบบจำลองทั้งสอง เพื่อพิจารณาการสูญเสียเชิงวิถีขนาดและเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณ และรูปคลื่นสัญญาณที่รับได้

4.1 ผลการทดลองการสูญเสียเชิงวิถี

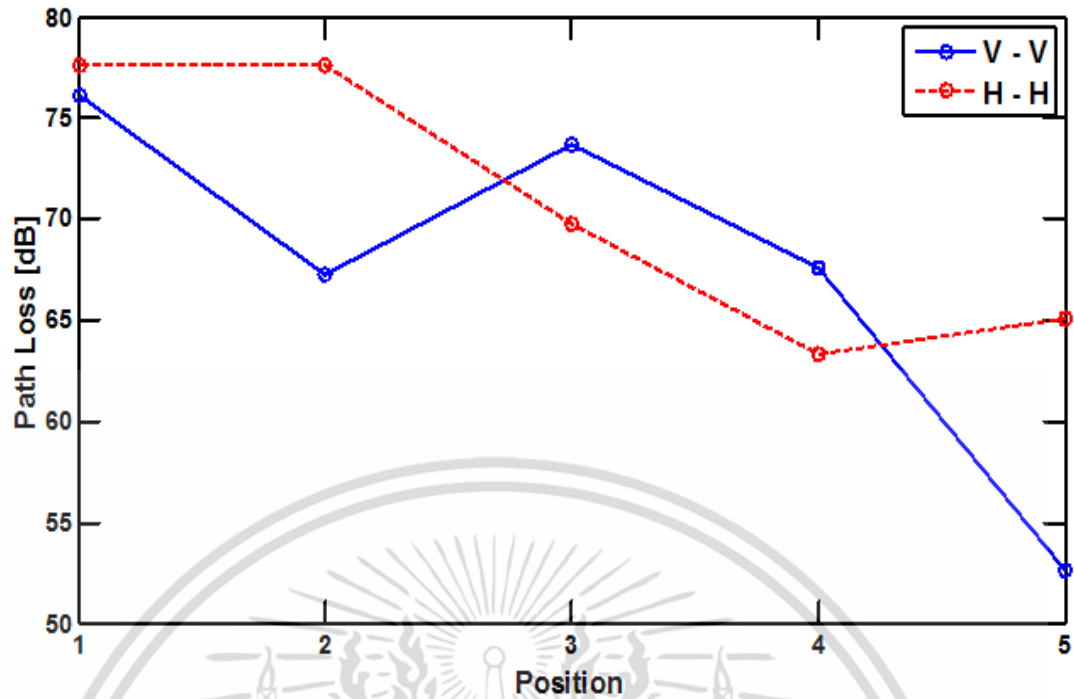
4.1.1 การสูญเสียเชิงวิถีกรณีเพศชาย

การสูญเสียเชิงวิถีของแบบจำลองการวัด โดยแบ่งเป็นการวางสายอากาศด้านรับและด้านส่งที่ใช้ในการวัดจากตำแหน่งต่างๆ บนร่างกายมนุษย์เป็นแบบ V-V และแบบ H-H ซึ่งทั้งสองแบบจำลองนี้ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถี จะแสดงในรูปของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียเชิงวิถีและตำแหน่งที่ได้ทำการวัดผล โดยการสูญเสียเชิงวิถีแบบการวางสายอากาศ V-V เปรียบเทียบกับ H-H แถวที่ A ดังแสดงในรูปที่ 4.1 แถวที่ B ดังแสดงในรูปที่ 4.2 แถวที่ C ดังแสดงในรูปที่ 4.3 แถวที่ D ดังแสดงในรูปที่ 4.4 แถวที่ E ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และแสดงค่าของการสูญเสียเชิงวิถีในแต่ละตำแหน่งในตารางที่ 4.1

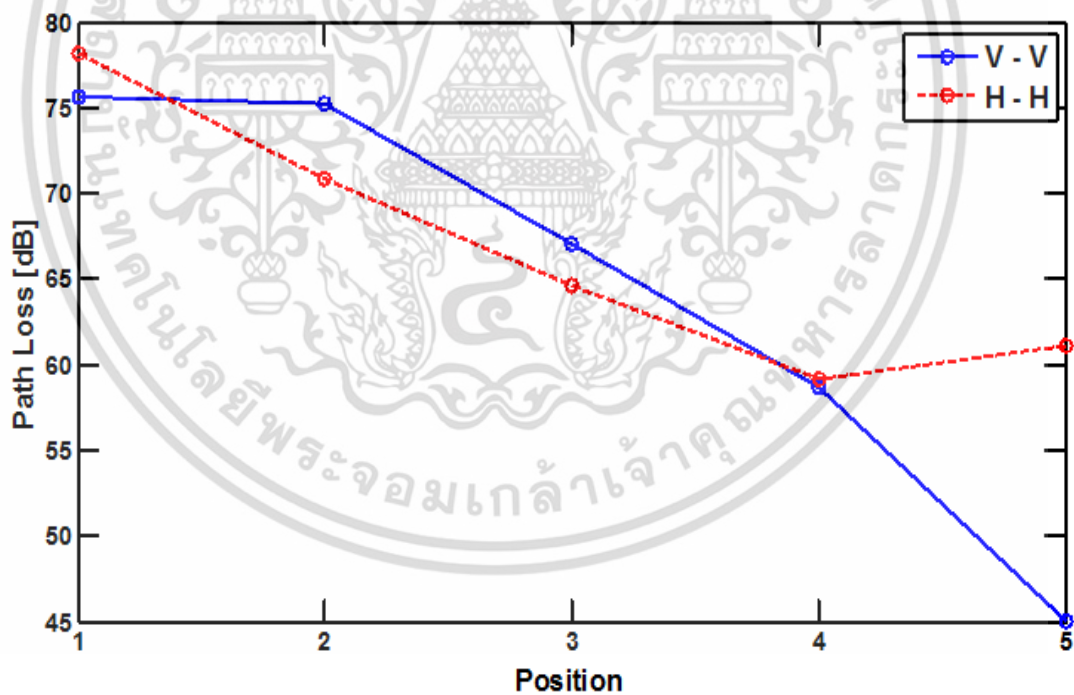


รูปที่ 4.1 การสูญเสียเชิงวิถีแบบจำลองการวางสายอากาศแบบ V-V และ H-H แถวที่ A (ชาย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

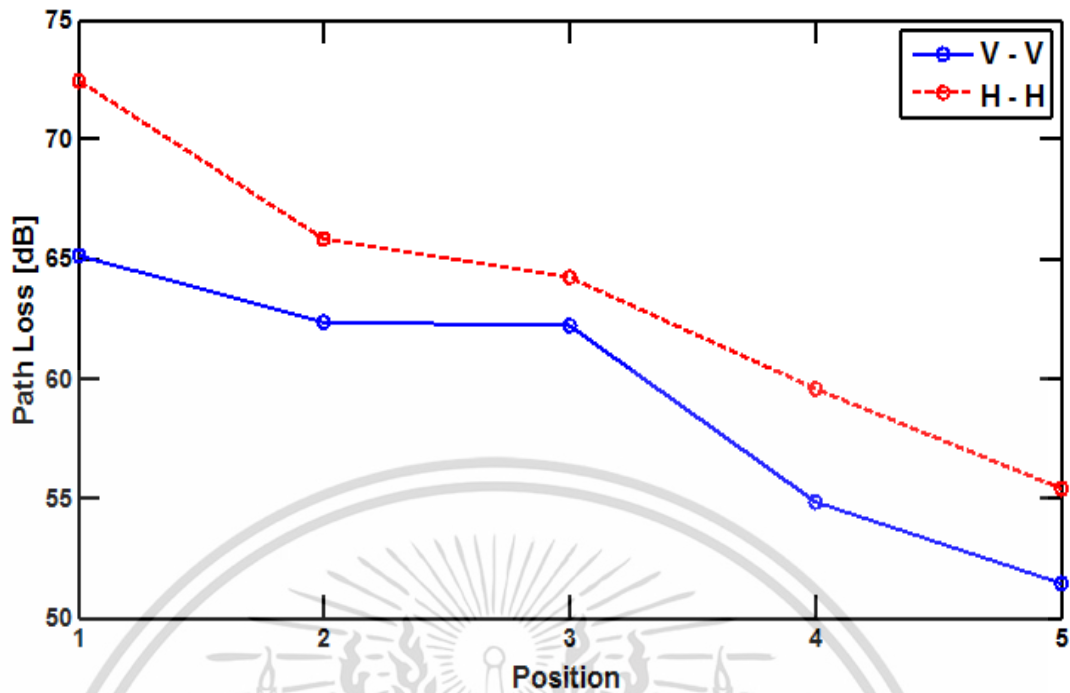


รูปที่ 4.2 การสูญเสียเชิงวิถีแบบจำลองการวางสายอากาศแบบ V-V และ H-H แถวที่ B (ชาย)

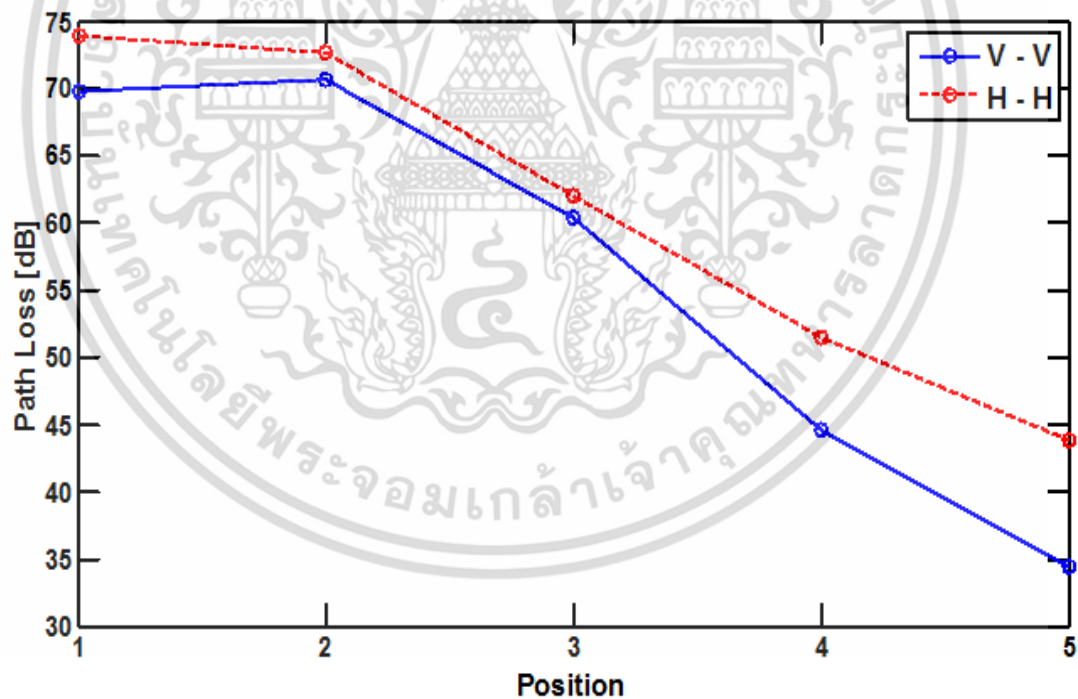


รูปที่ 4.3 การสูญเสียเชิงวิถีแบบจำลองการวางสายอากาศแบบ V-V และ H-H แถวที่ C (ชาย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 การสูญเสียเชิงวิถีแบบจำลองการวางสายอากาศแบบ V-V และ H-H แฉวที่ D (ชาย)



รูปที่ 4.5 การสูญเสียเชิงวิถีแบบจำลองการวางสายอากาศแบบ V-V และ H-H แฉวที่ E (ชาย)

จากรูปแสดงการสูญเสียเชิงวิถีแบบจำลองของการวางสายอากาศทั้งแบบ V-V และ H-H ในแต่ละแถวของเพศชาย จะเห็นว่าการสูญเสียเชิงวิถีตั้งแต่ตำแหน่งที่ 1 จนถึงตำแหน่งที่ 5 ของการวางสายอากาศทั้งแบบ V-V และ H-H มีแนวโน้มการสูญเสียเชิงวิถีที่ลดลง โดยตำแหน่งที่ 5 จะมีการสูญเสียเชิงวิถีที่น้อยที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากสายอากาศด้านรับของตำแหน่งที่ 5 อยู่ใกล้สายอากาศด้านส่ง เอกสารนี้ใช้เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ใช้เว็บไซต์นี้ กรุณาอย่าเผยแพร่เอกสารนี้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากที่สุด และเมื่อทำการเปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีของการวางสายอากาศแบบ V-V และ H-H พบว่าการวางสายอากาศ V-V จะมีแนวโน้มการสูญเสียเชิงวิถีที่น้อยกว่าแบบ H-H แต่ในรูปที่ 4.2 แถวที่ B จะมีตำแหน่งที่ 3 และ 4 และรูปที่ 4.3 แถวที่ C จะมีตำแหน่งที่ 2 และ 3 ที่มีการสูญเสียเชิงวิถีของการวางสายอากาศแบบ V-V มีค่ามากกว่าแบบ H-H ทั้งนี้เนื่องจากบริเวณตำแหน่งดังกล่าวเป็นตำแหน่งที่ไม่เป็นระนาบเรียบตรงบนร่างกายมนุษย์ ทำให้มีการสูญเสียที่เกิดจากอวัยวะและองค์ประกอบบนร่างกายมนุษย์ส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลได้

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีของการวางสายอากาศแบบ V-V และ H-H กรณีเพศชาย

ตำแหน่งที่	การสูญเสียเชิงวิถีของสายอากาศแบบ V-V [dB]	การสูญเสียเชิงวิถีของสายอากาศแบบ H-H [dB]
A1	75.096	79.362
A2	75.487	78.156
A3	67.992	71.937
A4	67.311	71.870
A5	58.479	66.208
B1	76.154	77.578
B2	67.254	77.639
B3	73.731	69.756
B4	67.553	63.293
B5	52.596	65.085
C1	75.640	78.231
C2	75.303	70.865
C3	67.117	64.672
C4	58.675	59.155
C5	45.005	61.180
D1	65.124	72.456
D2	62.337	65.853
D3	62.201	64.245
D4	54.827	59.593
D5	51.415	55.374
E1	69.769	73.878
E2	70.627	72.714
E3	60.382	62.047

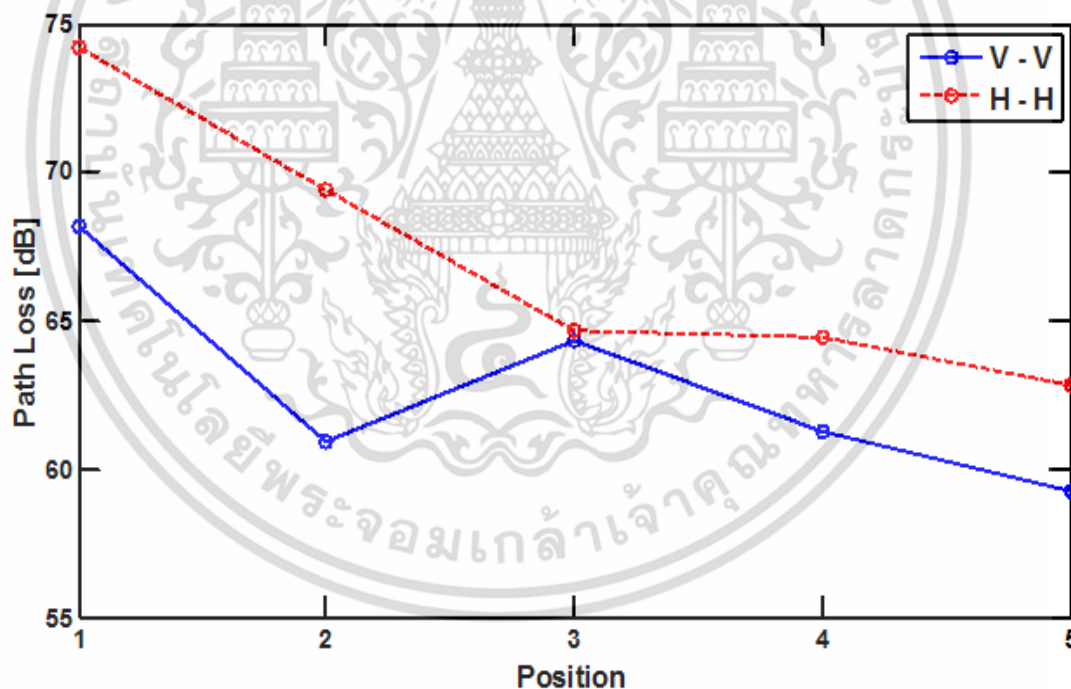
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ตำแหน่งที่	การสูญเสียเชิงวิถีของสายอากาศแบบ V-V [dB]	การสูญเสียเชิงวิถีของสายอากาศแบบ H-H [dB]
E4	44.607	51.451
E5	34.471	43.827

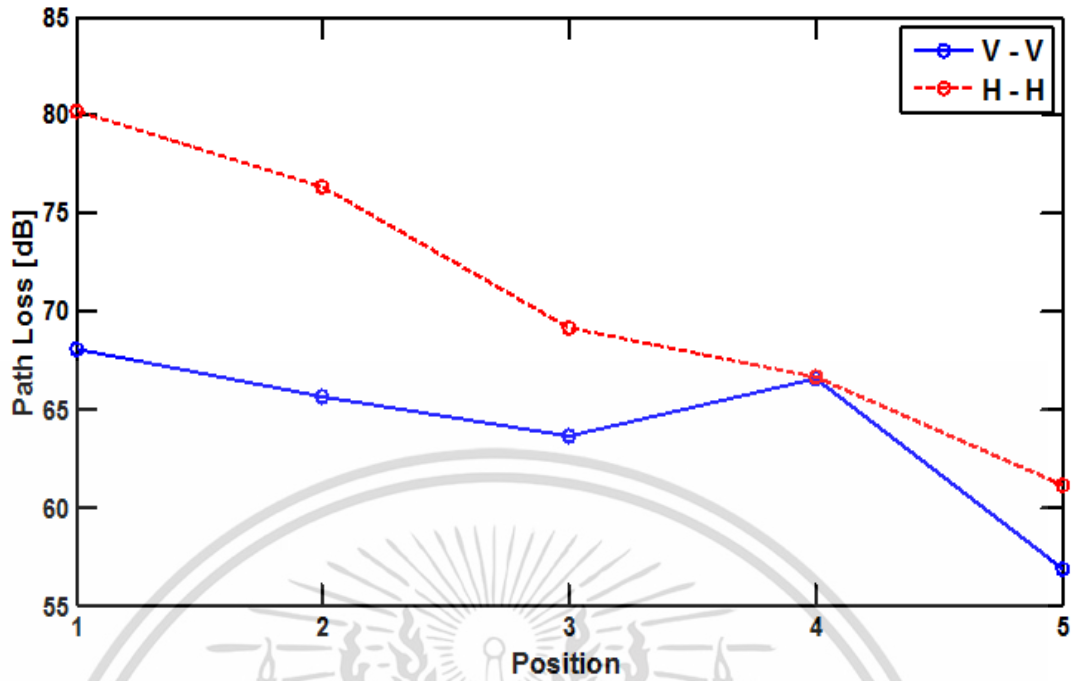
4.1.2 การสูญเสียเชิงวิถีกรณีพิเศษหญิง

การสูญเสียเชิงวิถีของแบบจำลองการวัด โดยแบ่งเป็นการวางสายอากาศด้านรับและด้านส่งที่ใช้ในการวัดจากตำแหน่งต่างๆ บนร่างกายมนุษย์เป็นแบบ V-V และแบบ H-H ซึ่งทั้งสองแบบจำลองนี้ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถี จะแสดงในรูปของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียเชิงวิถีและตำแหน่งที่ได้ทำการวัดผล โดยการสูญเสียเชิงวิถีแบบการวางสายอากาศ V-V เปรียบเทียบกับ H-H แถวที่ A ดังแสดงในรูปที่ 4.6 แถวที่ B ดังแสดงในรูปที่ 4.7 แถวที่ C ดังแสดงในรูปที่ 4.8 แถวที่ D ดังแสดงในรูปที่ 4.9 แถวที่ E ดังแสดงในรูปที่ 4.10 และแสดงค่าของการสูญเสียเชิงวิถีในแต่ละตำแหน่งในตารางที่ 4.2

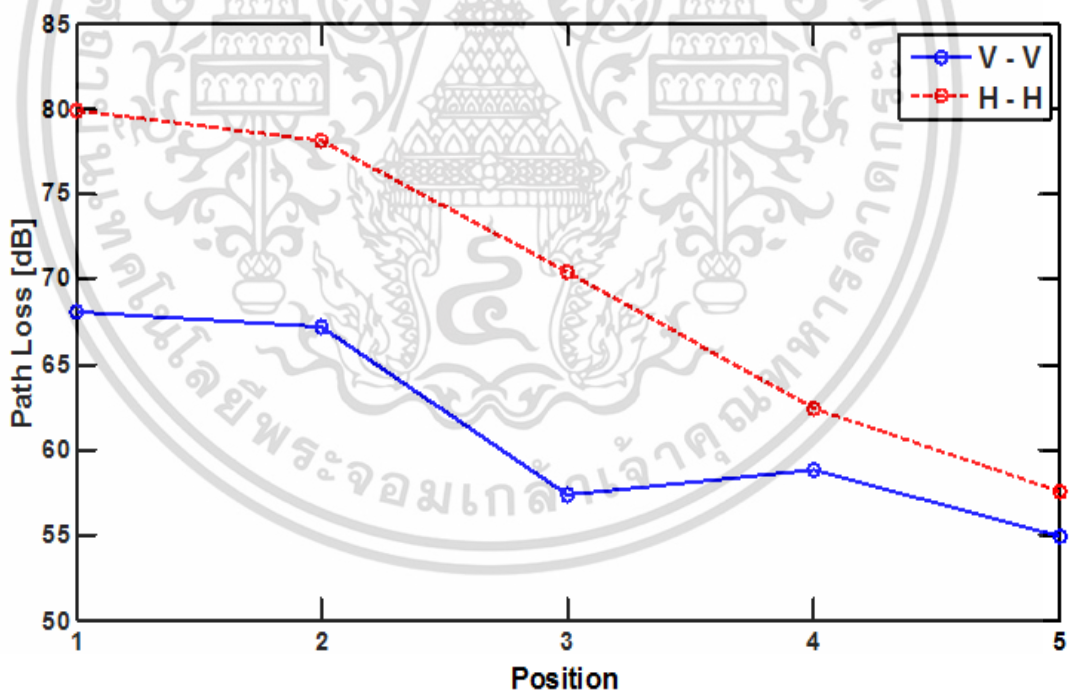


รูปที่ 4.6 การสูญเสียเชิงวิถีแบบจำลองการวางสายอากาศแบบ V-V และ H-H แถวที่ A (หญิง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

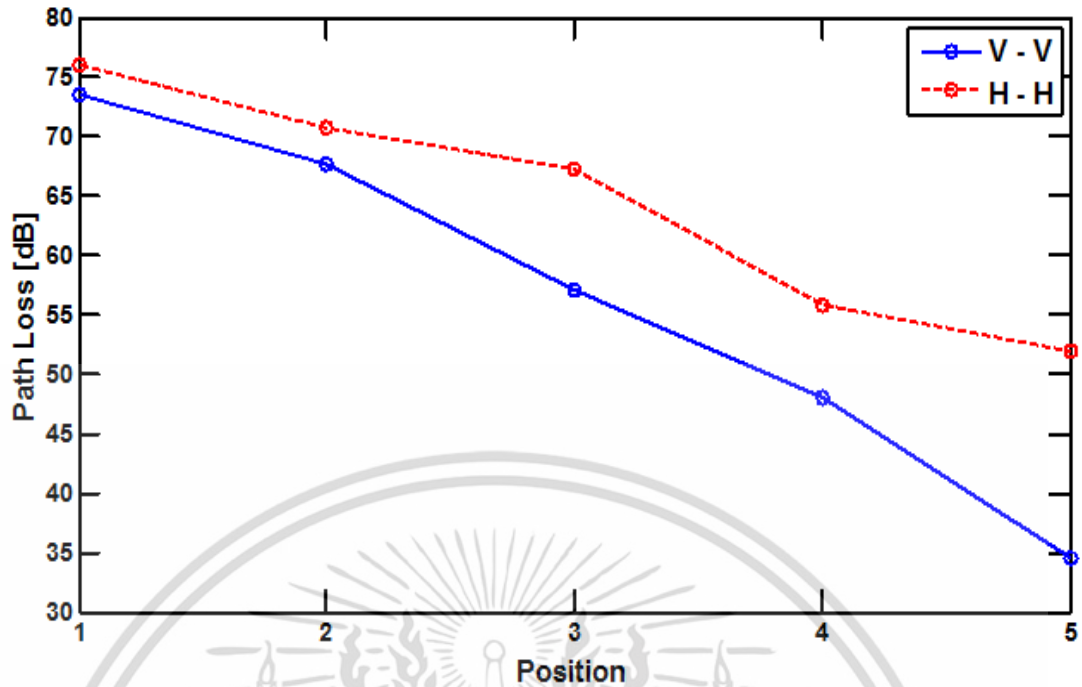


รูปที่ 4.7 การสูญเสียเชิงวิถีแบบจำลองการวางสายอากาศแบบ V-V และ H-H แถวที่ B (หญิง)

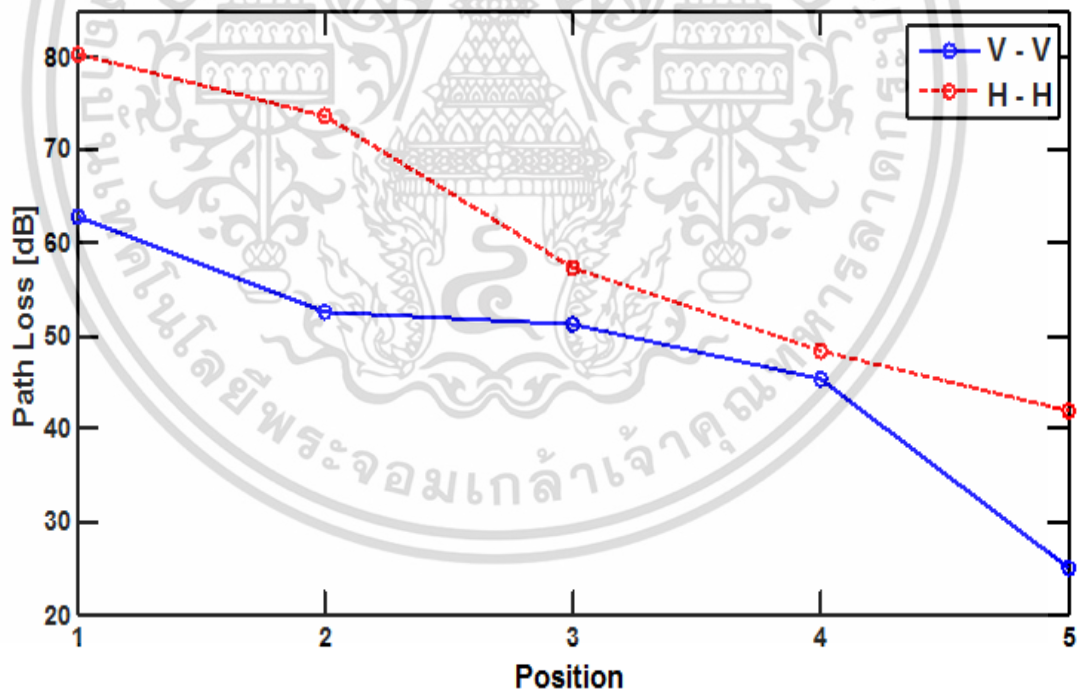


รูปที่ 4.8 การสูญเสียเชิงวิถีแบบจำลองการวางสายอากาศแบบ V-V และ H-H แถวที่ C (หญิง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 การสูญเสียเชิงวิถีแบบจำลองการวางสายอากาศแบบ V-V และ H-H แลวที่ D (หญิง)



รูปที่ 4.10 การสูญเสียเชิงวิถีแบบจำลองการวางสายอากาศแบบ V-V และ H-H แลวที่ E (หญิง)

จากรูปแสดงการสูญเสียเชิงวิถีแบบจำลองของการวางสายอากาศทั้งแบบ V-V และ H-H ในแต่ละแถวของเพศหญิง จะเห็นว่าการสูญเสียเชิงวิถีตั้งแต่ตำแหน่งที่ 1 จนถึงตำแหน่งที่ 5 ของการวางสายอากาศทั้งแบบ V-V และ H-H มีแนวโน้มการสูญเสียเชิงวิถีที่ลดลง โดยตำแหน่งที่ 5 จะมีการสูญเสียเชิงวิถีที่น้อยที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากสายอากาศด้านรับของตำแหน่งที่ 5 อยู่ใกล้สายอากาศด้านส่ง เอกสารนี้เผยแพร่เพื่อวัตถุประสงค์เท่านั้น เมื่อคุณได้เห็นสิ่งนี้โปรดอย่าเผยแพร่หรือใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากผู้จัดทำ เอกสารนี้เผยแพร่เพื่อวัตถุประสงค์เท่านั้น เมื่อคุณได้เห็นสิ่งนี้โปรดอย่าเผยแพร่หรือใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากผู้จัดทำ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากที่สุด และเมื่อทำการเปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีของการวางสายอากาศแบบ V-V และ H-H พบว่าการวางสายอากาศแบบ V-V จะมีการสูญเสียเชิงวิถีที่น้อยกว่าแบบ H-H แสดงว่าการวางสายอากาศแบบ V-V มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าแบบ H-H แต่ในรูปที่ 4.6 จะมีตำแหน่งที่ 3 และรูปที่ 4.7 รูปที่ 4.8 และรูปที่ 4.10 ในตำแหน่งที่ 4 สำหรับการวางสายอากาศแบบ V-V ที่มีการสูญเสียเชิงวิถีของการวางสายอากาศที่ไม่สอดคล้องกับตำแหน่งอื่นๆ ซึ่งโดยทั่วไปการสูญเสียเชิงวิถีจะลดลงเมื่ออยู่ใกล้สายอากาศด้านส่ง ทั้งนี้เนื่องจากบริเวณตำแหน่งดังกล่าวเป็นตำแหน่งที่ไม่เป็นระนาบเรียบตรง บนร่างกายมนุษย์ ทำให้มีการสูญเสียที่เกิดจากอวัยวะและองค์ประกอบบนร่างกายมนุษย์ส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลได้

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีของการวางสายอากาศแบบ V-V และ H-H กรณีเพศหญิง

ตำแหน่งที่	การสูญเสียเชิงวิถีของสายอากาศแบบ V-V [dB]	การสูญเสียเชิงวิถีของสายอากาศแบบ H-H [dB]
A1	68.157	74.170
A2	60.940	69.419
A3	64.316	64.676
A4	61.245	64.447
A5	59.287	62.819
B1	68.084	80.234
B2	65.642	76.360
B3	63.656	69.152
B4	66.551	66.650
B5	56.863	61.104
C1	68.064	79.885
C2	67.244	78.104
C3	57.341	70.466
C4	58.866	62.417
C5	54.916	57.527
D1	73.466	76.054
D2	67.630	70.806
D3	57.056	67.219
D4	48.052	55.875
D5	34.578	51.981
E1	62.951	80.278

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

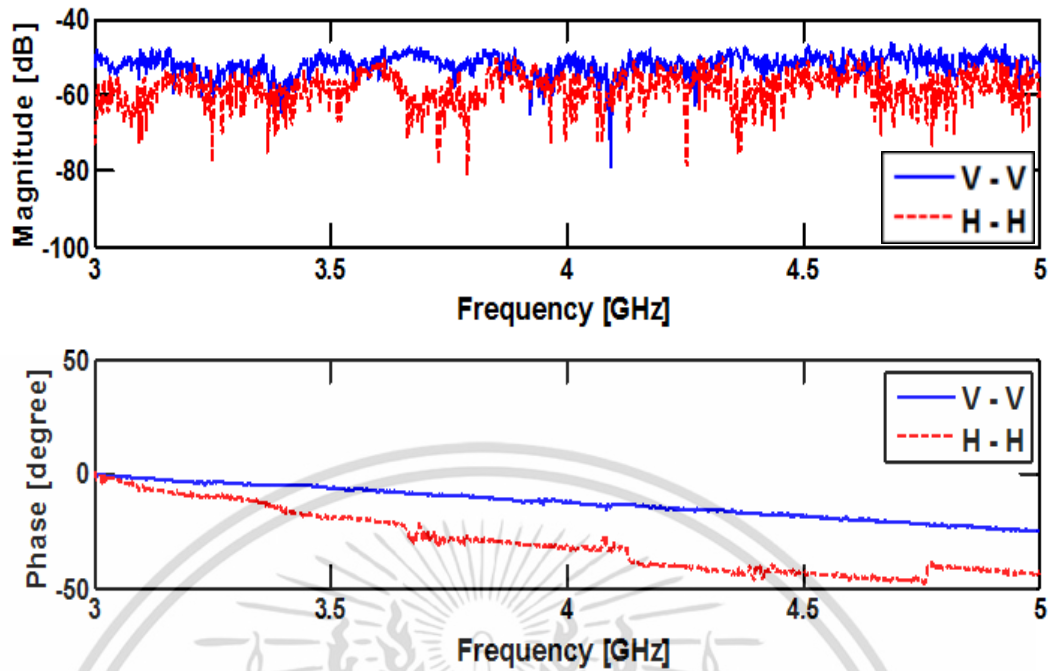
ตำแหน่งที่	การสูญเสียเชิงวิถีของสายอากาศแบบ V-V [dB]	การสูญเสียเชิงวิถีของสายอากาศแบบ H-H [dB]
E2	52.606	73.598
E3	51.347	57.347
E4	45.403	48.380
E5	24.989	42.017

จากรูปและตารางข้างต้นซึ่งแสดงการสูญเสียเชิงวิถีของทั้งเพศชายและเพศหญิง จะเห็นว่าการกราฟแสดงการสูญเสียเชิงวิถีของทั้งเพศชายและหญิงเป็นไปในแนวทางที่สอดคล้องกัน โดยตำแหน่งที่สายอากาศด้านรับอยู่ใกล้สายอากาศด้านส่งมากที่สุดจะมีการสูญเสียเชิงวิถีที่น้อยที่สุด และเมื่อทำการเปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีของการวางสายอากาศแบบ V-V และ H-H พบว่าการวางสายอากาศแบบ V-V มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าแบบ H-H ทั้งนี้เนื่องจากแนวการโพลาไรซ์ของสายอากาศแบบ V-V ดีกว่าแนวการโพลาไรซ์ของสายอากาศแบบ H-H ซึ่งเป็นไปตามคุณลักษณะการโพลาไรซ์แบบรอบตัวตามแนวตั้งของสายอากาศแบบเส้นตัวนำคดเคี้ยว

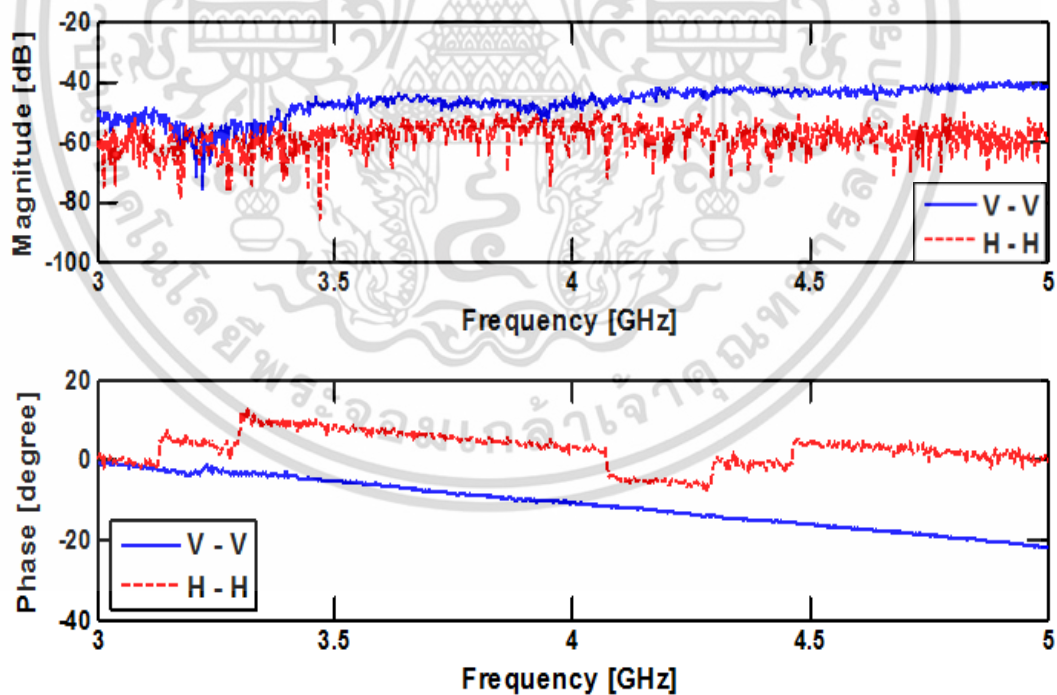
4.2 ผลการทดลองขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนสัญญาณและเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณ

4.2.1 ขนาดและเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณกรณีเพศชาย

ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณที่ได้จากการวัดจริง จะแสดงอยู่ในรูปของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ที่ใช้ในการส่งสัญญาณกับระดับกำลังงานของสัญญาณที่ได้รับ และเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณที่ได้จากการวัดจริง จะแสดงอยู่ในรูปของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ที่ใช้ในการส่งสัญญาณกับระดับเฟสของสัญญาณที่ได้รับ โดยจะทำการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองการวางสายอากาศด้านรับและด้านส่งที่ใช้ในการวัดจากตำแหน่งต่างๆ บนร่างกายมนุษย์เป็นแบบ V-V และแบบ H-H ของเพศชาย ซึ่งได้นำตำแหน่งที่ 5 ของทุกตำแหน่ง ซึ่งมีระดับสัญญาณที่มีคุณภาพดีมาทำการพิจารณาเปรียบเทียบ โดยขนาดและเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบการวางสายอากาศ V-V เปรียบเทียบกับ H-H ตำแหน่ง A5 ดังแสดงในรูปที่ 4.11 ตำแหน่ง B5 ดังแสดงในรูปที่ 4.12 ตำแหน่ง C5 ดังแสดงในรูปที่ 4.13 ตำแหน่ง D5 ดังแสดงในรูปที่ 4.14 ตำแหน่ง E5 ดังแสดงในรูปที่ 4.15

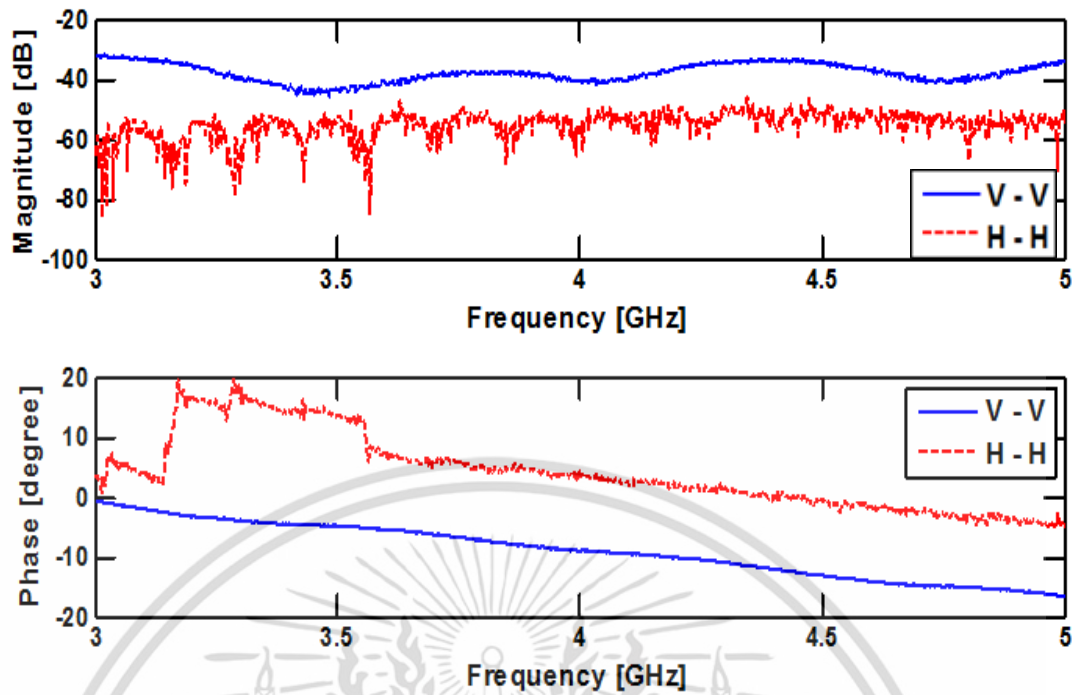


รูปที่ 4.11 ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณของการวางสายอากาศ V-V และ H-H ตำแหน่ง A5 (ชาย)

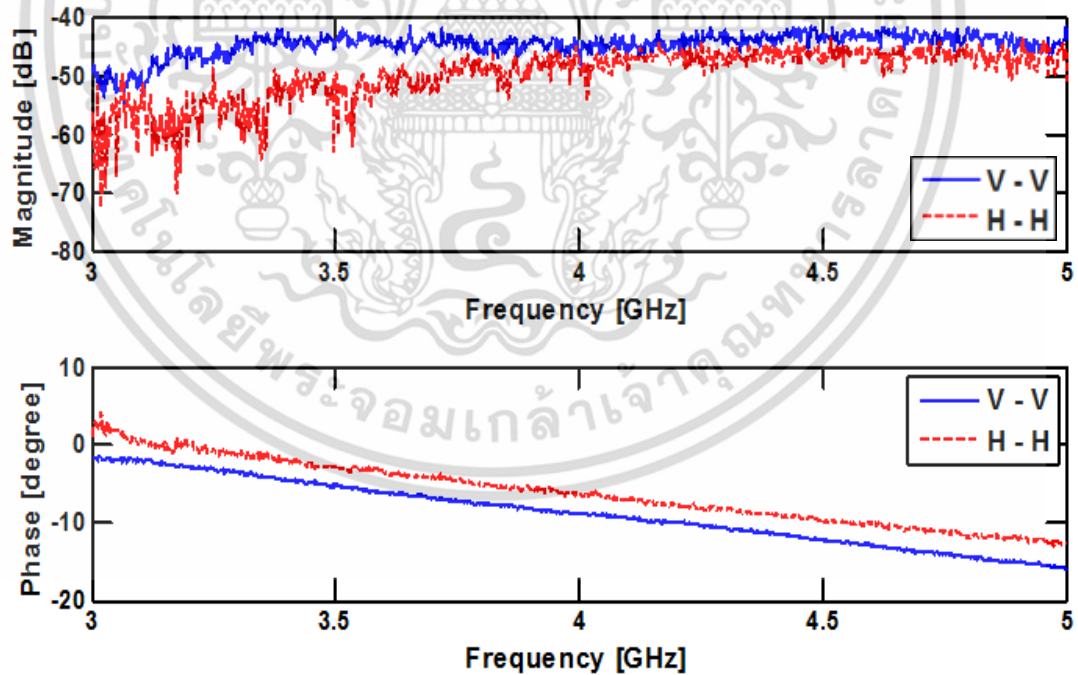


รูปที่ 4.12 ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณของการวางสายอากาศ V-V และ H-H ตำแหน่ง B5 (ชาย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

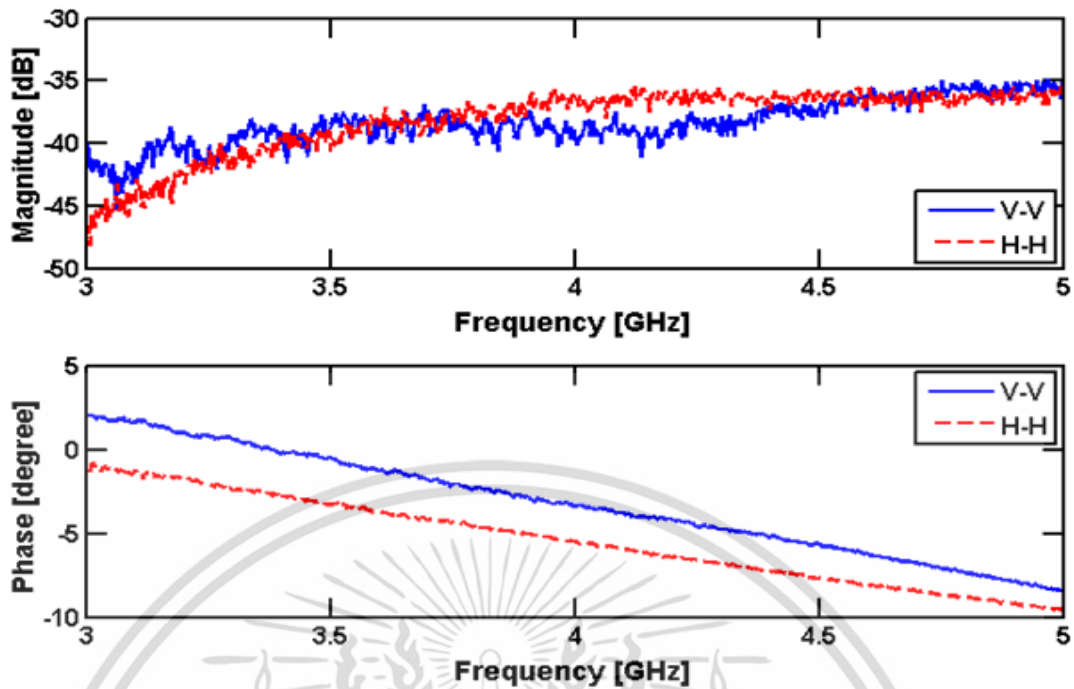


รูปที่ 4.13 ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณของการวางสายอากาศ V-V และ H-H ตำแหน่ง C5 (ชาย)



รูปที่ 4.14 ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณของการวางสายอากาศ V-V และ H-H ตำแหน่ง D5 (ชาย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

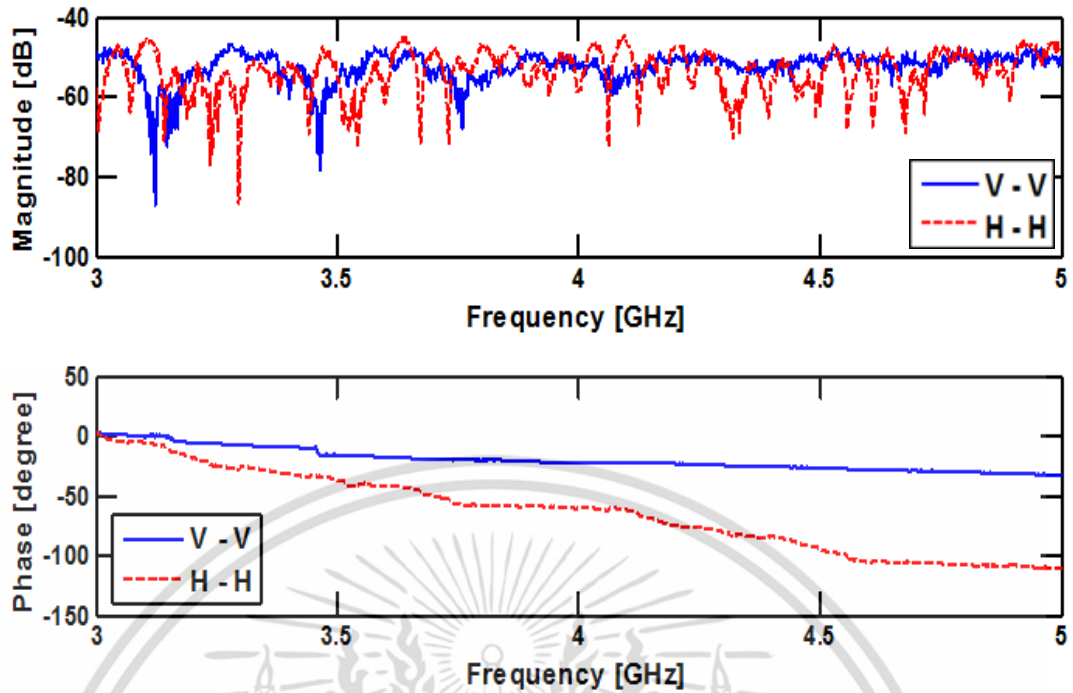


รูปที่ 4.15 ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณของการวางสายอากาศ V-V และ H-H ตำแหน่ง E5 (ชาย)

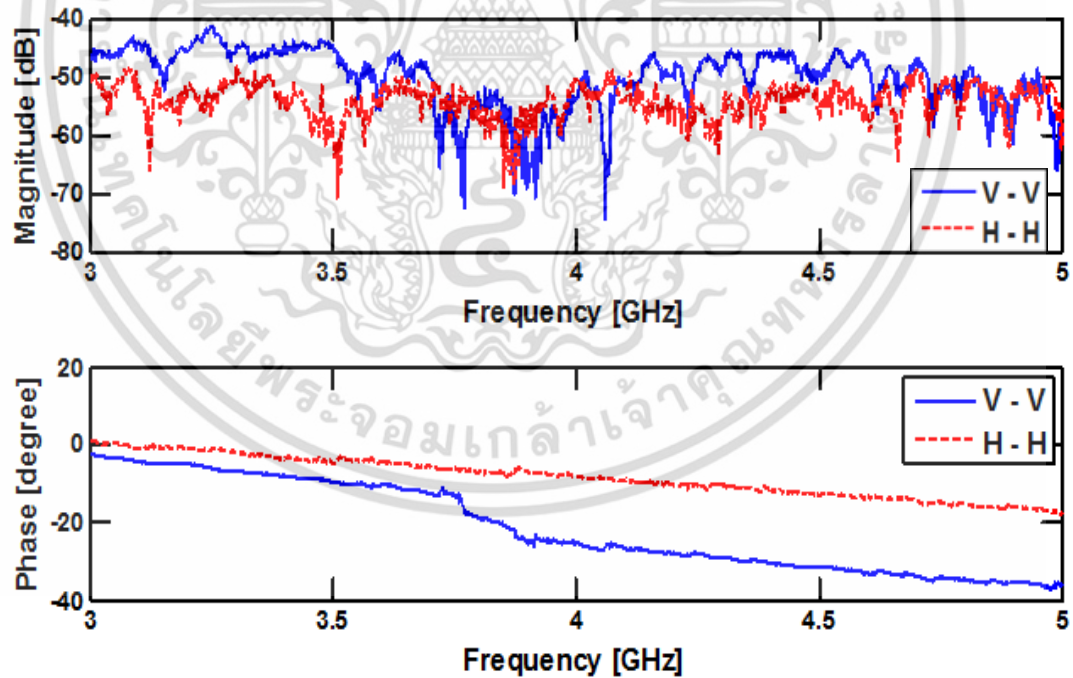
จากรูปข้อมูลของตำแหน่งที่มีการสูญเสียเชิงวิถีที่ต่ำที่สุดของแต่ละแถวของเพศชายคือ ตำแหน่งที่ 5 มาพิจารณาขนาดและเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณ จะเห็นว่าการวางสายอากาศแบบ V-V จะมีขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณที่สูงกว่าคือมีระดับกำลังงานของสัญญาณที่ได้รับสูงกว่า และเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณก็มีลักษณะเป็นเส้นตรงมากกว่าการวางสายอากาศแบบ H-H แสดงว่าการวางสายอากาศแบบ V-V มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าแบบ H-H

4.2.2 ขนาดและเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณกรณีเพศหญิง

ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณที่ได้จากการวัดจริง จะแสดงอยู่ในรูปของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ที่ใช้ในการส่งสัญญาณกับระดับกำลังงานของสัญญาณที่ได้รับ และเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณที่ได้จากการวัดจริง จะแสดงอยู่ในรูปของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ที่ใช้ในการส่งสัญญาณกับระดับเฟสของสัญญาณที่ได้รับ โดยจะทำการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองการวางสายอากาศด้านรับและด้านส่งที่ใช้ในการวัดจากตำแหน่งต่างๆ บนร่างกายมนุษย์เป็นแบบ V-V และแบบ H-H ของเพศหญิง ซึ่งได้นำตำแหน่งที่ 5 ของทุกตำแหน่ง ซึ่งมีระดับสัญญาณที่มีคุณภาพดีมาทำการพิจารณาเปรียบเทียบ โดยขนาดและเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบการวางสายอากาศ V-V เปรียบเทียบกับ H-H ตำแหน่ง A5 ดังแสดงในรูปที่ 4.16 ตำแหน่ง B5 ดังแสดงในรูปที่ 4.17 ตำแหน่ง C5 ดังแสดงในรูปที่ 4.18 ตำแหน่ง D5 ดังแสดงในรูปที่ 4.19 ตำแหน่ง E5 ดังแสดงในรูปที่ 4.20

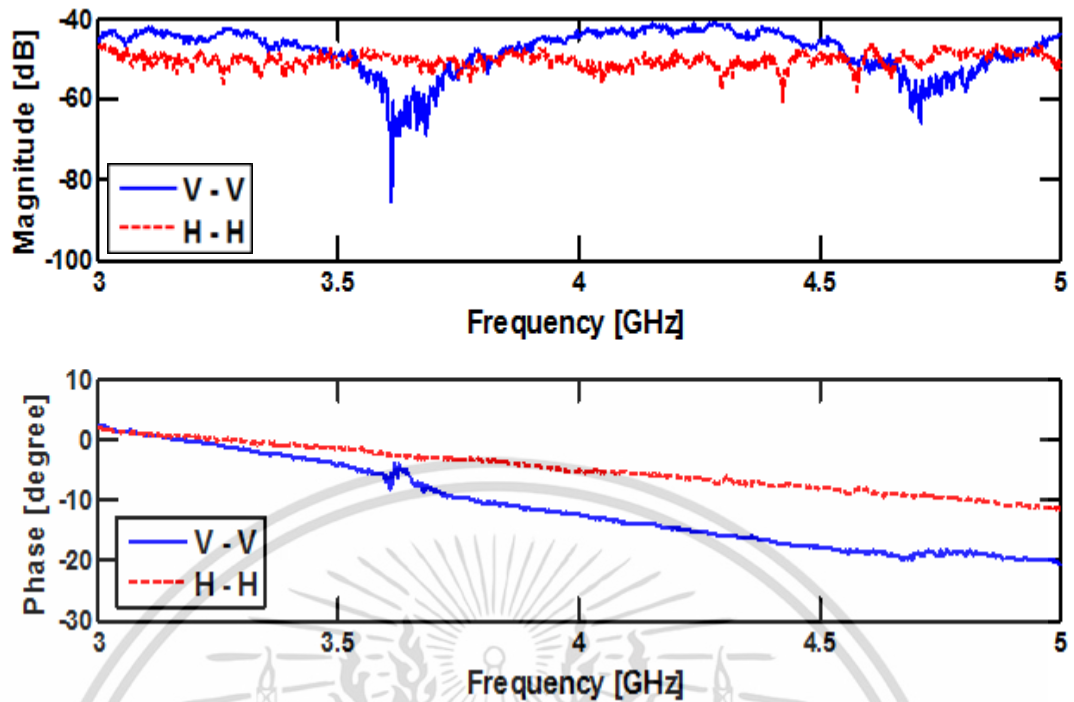


รูปที่ 4.16 ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณของการวางสายอากาศ V-V และ H-H ตำแหน่ง A5 (หญิง)

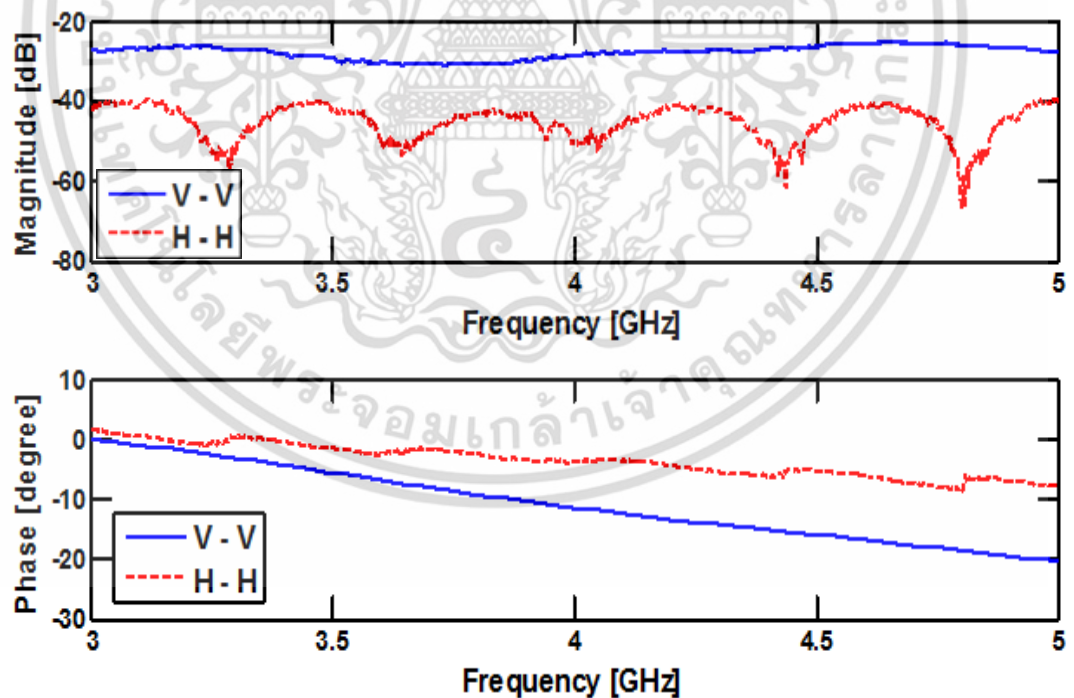


รูปที่ 4.17 ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณของการวางสายอากาศ V-V และ H-H ตำแหน่ง B5 (หญิง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

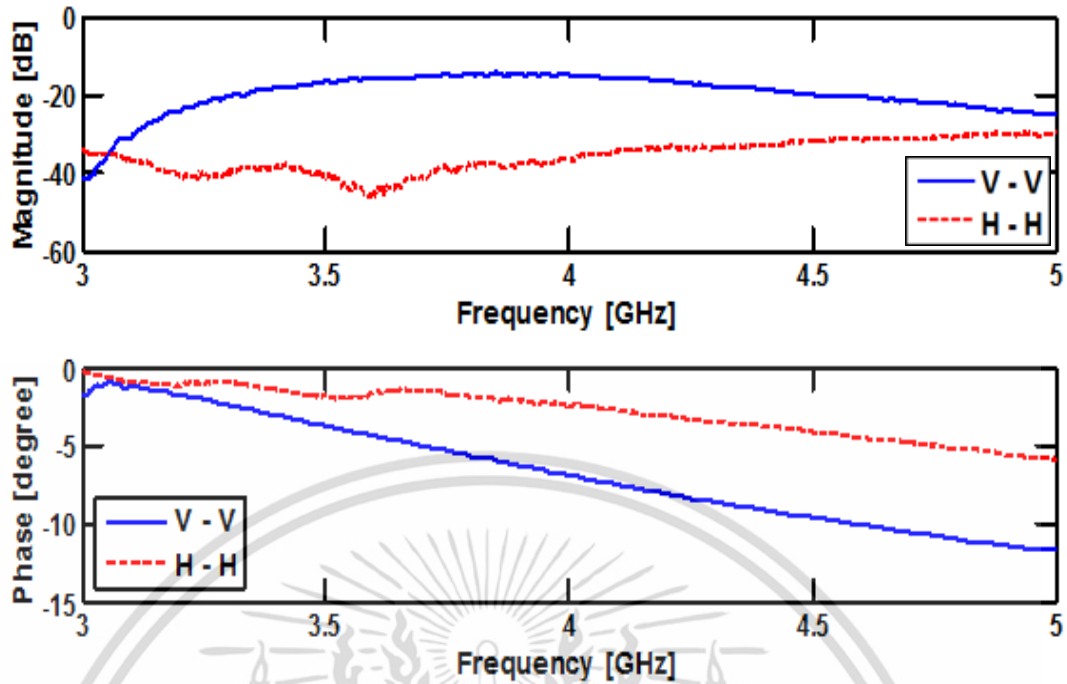


รูปที่ 4.18 ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณของการวางสายอากาศ V-V และ H-H ตำแหน่ง C5 (หญิง)



รูปที่ 4.19 ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณของการวางสายอากาศ V-V และ H-H ตำแหน่ง D5 (หญิง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณของการวางสายอากาศ V-V และ H-H ตำแหน่ง E5 (หญิง)

จากรูปจะนำข้อมูลของตำแหน่งที่มีการสูญเสียเชิงวิถีที่ต่ำที่สุดของแต่ละแถวของเพศหญิงคือ ตำแหน่งที่ 5 มาพิจารณาขนาดและเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณ จะเห็นว่าการวางสายอากาศแบบ V-V จะมีขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณที่สูงกว่าคือมีระดับกำลังงานของสัญญาณที่ได้รับสูงกว่า และเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณก็มีลักษณะเป็นเส้นตรงมากกว่าการวางสายอากาศแบบ H-H แสดงว่าการวางสายอากาศแบบ V-V มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าแบบ H-H

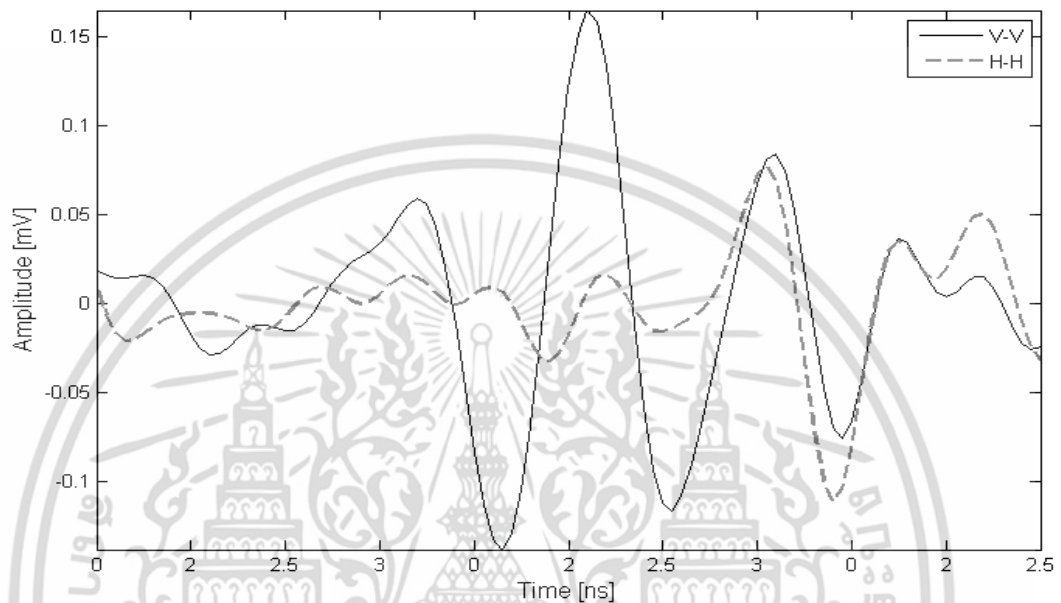
จากข้างต้นเมื่อพิจารณาขนาดและเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณของทั้งชายและหญิง จะเห็นว่าขนาดและเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณที่มีความสอดคล้องกัน โดยพบว่าการวางสายอากาศแบบ V-V มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าแบบ H-H

4.3 ผลการทดลองรูปคลื่นสัญญาณที่ได้รับได้

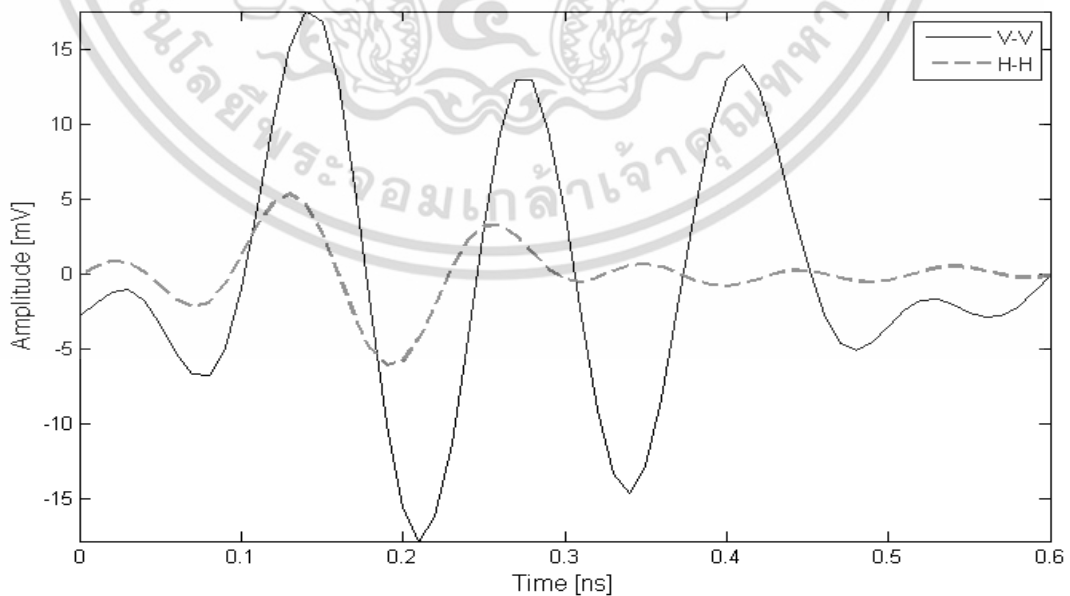
4.3.1 รูปคลื่นสัญญาณที่ได้รับได้กรณีเพศชาย

การเปรียบเทียบรูปคลื่นนี้จะทำการเปรียบเทียบระหว่างรูปคลื่นสัญญาณที่ได้รับได้ของการวางสายอากาศแบบ V-V และ H-H กรณีเพศชาย พบว่าระดับสัญญาณที่ได้รับได้ของการวางสายอากาศแบบ V-V จะมีระดับสัญญาณสูงกว่าและมีพัลส์ที่แคบกว่าการวางสายอากาศแบบ H-H โดยตำแหน่งที่ A1 แบบ V-V มีค่าระดับสัญญาณสูงสุดเท่ากับ 0.16 mV แบบ H-H มีค่าระดับสัญญาณสูงสุดเท่ากับ 0.08 mV และตำแหน่งที่ E5 แบบ V-V มีค่าระดับสัญญาณสูงสุดเท่ากับ 17.58 mV แบบ H-H มีค่าระดับสัญญาณสูงสุดเท่ากับ 5.36 mV หากเปรียบเทียบลักษณะการโพลาริซ์ของสายอากาศทั้งสอง

แบบพบว่าแนวการไหลไรซ์ของสายอากาศแบบ V-V ดีกว่าแนวการไหลไรซ์ของสายอากาศแบบ H-H และเมื่อเปรียบเทียบตำแหน่งทั้งสองจะเห็นว่าตำแหน่งที่ E5 มีระดับสัญญาณที่สูงกว่าตำแหน่งที่ A1 เนื่องจากตำแหน่งที่ A1 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่สายอากาศด้านรับห่างจากสายอากาศด้านส่งมากที่สุด และ E5 เป็นตำแหน่งที่สายอากาศด้านรับใกล้กับสายอากาศด้านส่งมากที่สุด ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.21 และ 4.22 ตามลำดับ



รูปที่ 4.21 ยกตัวอย่างเปรียบเทียบรูปคลื่นสัญญาณที่รับได้การวางสายอากาศแบบ V-V และ H-H ที่ตำแหน่ง A1 กรณีเพศชาย

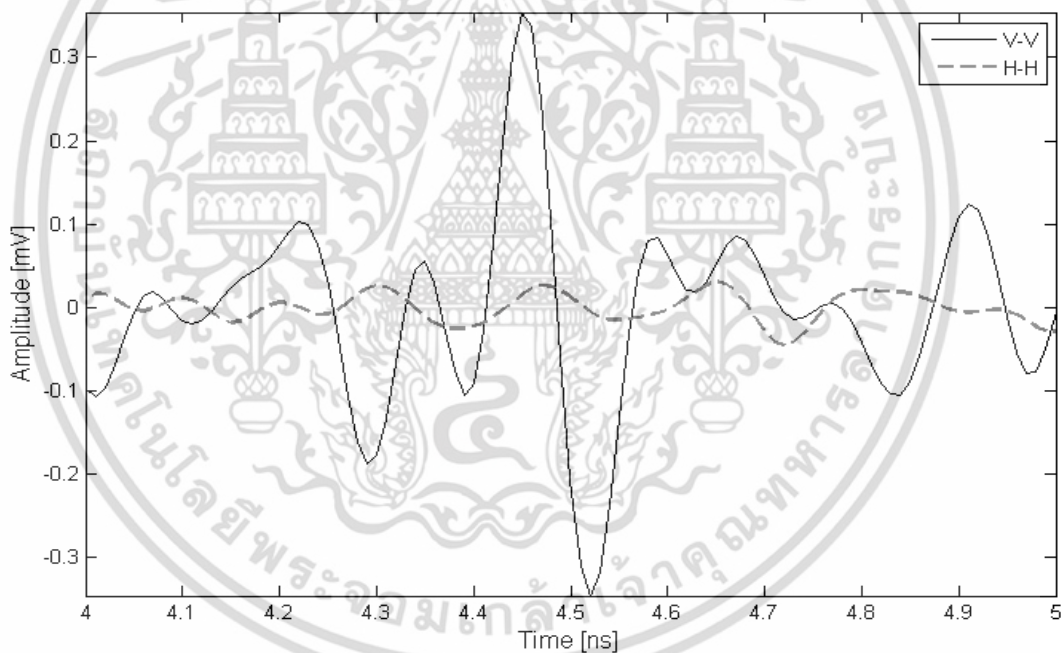


รูปที่ 4.22 ยกตัวอย่างเปรียบเทียบรูปคลื่นสัญญาณที่รับได้การวางสายอากาศแบบ V-V และ H-H ที่ตำแหน่ง E5 กรณีเพศชาย

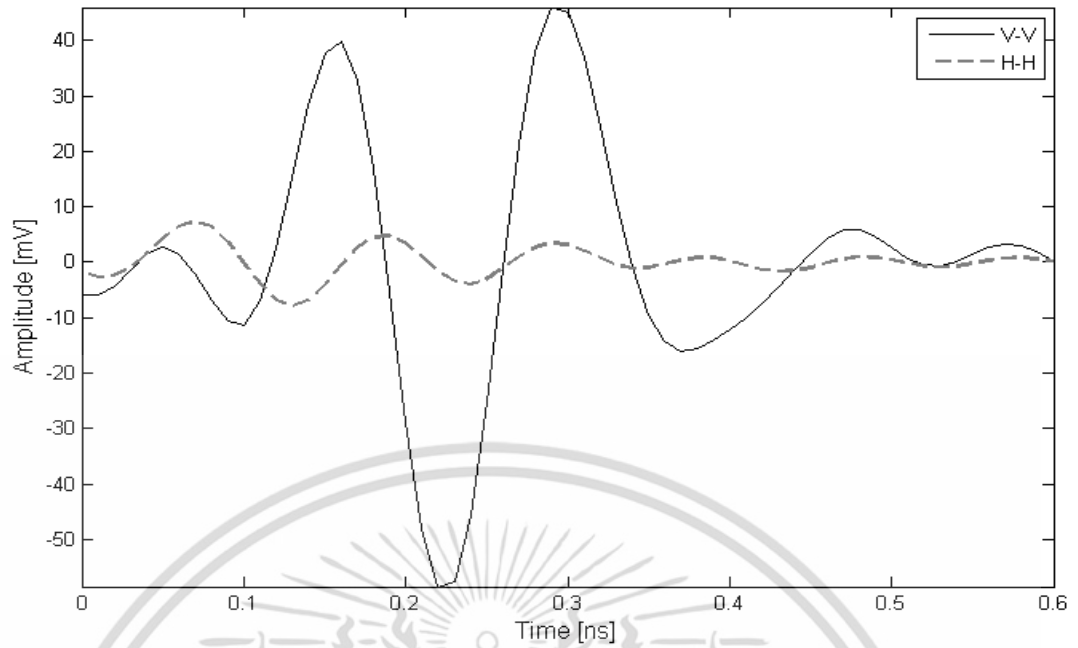
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 รูปคลื่นสัญญาณที่รับได้กรณีเพศหญิง

การเปรียบเทียบรูปคลื่นนี้จะทำการเปรียบเทียบระหว่างรูปคลื่นสัญญาณที่รับได้ของการวางสายอากาศแบบ V-V และ H-H กรณีเพศหญิง พบว่าระดับสัญญาณที่รับได้ของการวางสายอากาศแบบ V-V จะมีระดับสัญญาณสูงกว่าและมีพัลส์ที่แคบกว่าการวางสายอากาศแบบ H-H โดยตำแหน่งที่ A1 แบบ V-V มีค่าระดับสัญญาณสูงสุดเท่ากับ 0.35 mV แบบ H-H มีค่าระดับสัญญาณสูงสุดเท่ากับ 0.03 mV และตำแหน่งที่ E5 แบบ V-V มีค่าระดับสัญญาณสูงสุดเท่ากับ 45.92 mV แบบ H-H มีค่าระดับสัญญาณสูงสุดเท่ากับ 7.36 mV หากเปรียบเทียบลักษณะการโพลาไรซ์ของสายอากาศทั้งสองแบบพบว่าแนวการโพลาไรซ์ของสายอากาศแบบ V-V ดีกว่าแนวการโพลาไรซ์ของสายอากาศแบบ H-H เมื่อเปรียบเทียบตำแหน่งทั้งสองจะเห็นว่าตำแหน่งที่ E5 มีระดับสัญญาณที่สูงกว่าตำแหน่งที่ A1 เนื่องจากตำแหน่งที่ A1 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่สายอากาศด้านรับห่างจากสายอากาศด้านส่งมากที่สุด และ E5 เป็นตำแหน่งที่สายอากาศด้านรับใกล้กับสายอากาศด้านส่งมากที่สุด ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.23 และ 4.24 ตามลำดับ



รูปที่ 4.23 ยกตัวอย่างเปรียบเทียบรูปคลื่นสัญญาณที่รับได้การวางสายอากาศแบบ V-V และ H-H ที่ตำแหน่ง A1 กรณีเพศหญิง



รูปที่ 4.24 ยกตัวอย่างเปรียบเทียบรูปคลื่นสัญญาณที่รับได้การวางสายอากาศแบบ V-V และ H-H ที่ตำแหน่ง E5 กรณีเพศหญิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาการวัดช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งที่แถบความถี่ต่ำสำหรับโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ เพื่อประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นกับช่องสัญญาณการแพร่กระจายแบบแถบกว้างยิ่ง โดยจำลองการวัดออกเป็นตารางสายอากาศทั้งภาครับและภาคส่งสำหรับการวัดค่าข้อมูลจากตำแหน่งต่างๆ บนร่างกายมนุษย์ในลักษณะที่แตกต่างกันระหว่างการวางสายอากาศแบบแนวตั้งและแนวนอนของทั้งเพศชายและหญิง เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การสูญเสียเชิงวิถี ขนาดและเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสัญญาณ ซึ่งใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์เป็นอุปกรณ์ในการวัด และใช้สายอากาศแบบเส้นตัวนำคเคียวซึ่งเป็นสายอากาศที่ใช้สำหรับแถบกว้างยิ่งและมีขนาดเล็กเป็นสายอากาศด้านส่งและด้านรับ

5.1 สรุปผลการวิเคราะห์ผลกระทบต่อช่องสัญญาณ

จากการศึกษาการวัดช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งที่แถบความถี่ต่ำสำหรับโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ โดยพิจารณาผลกระทบต่อช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งที่เกิดจากการวางสายอากาศทั้งภาครับและภาคส่งสำหรับการวัดค่าข้อมูลในแบบแนวตั้งและแนวนอนสำหรับเพศชายและหญิง ซึ่งได้ทำการวัดที่ตำแหน่งต่างๆ บนร่างกายมนุษย์จำนวน 25 ตำแหน่ง เมื่อพิจารณาการวางสายอากาศแบบแนวตั้งจะติดตั้งสายอากาศไว้บนร่างกายแบบแนวตั้งทั้งภาคส่งและภาครับ และถ้าพิจารณาการวางสายอากาศแบบแนวนอนก็จะติดตั้งสายอากาศไว้บนร่างกายแบบแนวนอนทั้งภาคส่งและภาครับ เช่นเดียวกัน เมื่อนำผลการวัดจากตำแหน่งต่างๆ บนร่างกายมนุษย์มาทำการประเมินผลด้วยการเลียนแบบโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์แล้ว ผลจากการวิเคราะห์ของทั้งเพศชายและหญิงสามารถสรุปได้ว่าการวางสายอากาศที่ใช้ในการวัดที่มีลักษณะแตกต่างกันจะส่งผลต่อการแพร่กระจายของช่องสัญญาณที่ต่างกัน ผลที่ได้จากการวัดของการวางสายอากาศแนวตั้งจะมีแนวโน้มค่าการสูญเสียเชิงวิถีที่ต่ำกว่าการวัดจากการวางสายอากาศแบบแนวนอนทั้งของชายและหญิง ซึ่งจะมีเพียงบางตำแหน่งของเพศชายที่มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีของการวางสายอากาศแบบแนวตั้งมีค่ามากกว่าแบบแนวนอน ทั้งนี้เนื่องจากตำแหน่งของการวางสายอากาศที่ไกลจากภาคส่ง และบริเวณตำแหน่งดังกล่าวเป็นตำแหน่งที่ไม่เป็นระนาบเรียบตรงบนร่างกายมนุษย์ ทำให้มีค่าการสูญเสียที่เกิดจากอวัยวะและองค์ประกอบบนร่างกายมนุษย์ส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลได้ และตำแหน่งที่ 5 ของทุกตำแหน่ง จะมีระดับสัญญาณสูงกว่าตำแหน่งอื่นๆ เนื่องจากตำแหน่งดังกล่าวนั้นเข้าใกล้กับสายอากาศภาคส่งมากกว่าตำแหน่งอื่นๆ ซึ่งมีระดับสัญญาณที่มีคุณภาพดี จึงได้นำตำแหน่งที่ 5 ของทุกตำแหน่ง ซึ่งมีระดับสัญญาณที่มีคุณภาพดีมาวิเคราะห์ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนจะพบว่าการวางสายอากาศแนวตั้งมีขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนที่สูงกว่าการวางสายอากาศแบบแนวนอน และเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงมากกว่าการวางสายอากาศแบบแนวนอน ซึ่งถือว่ามีประสิทธิภาพที่ดีกว่า

ดังนั้นสามารถสรุปจากการวิเคราะห์ผลการทดลองได้ว่าการวางสายอากาศที่ใช้ในการวัดในลักษณะที่แตกต่างกันนั้นมีผลกระทบต่อช่องสัญญาณผ่านช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งผลที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีความสอดคล้องกันจากการวัดข้อมูลของทั้งชายและหญิง จะเห็นได้จากการสูญเสียเชิงวิถีของการวางสายอากาศแบบแนวตั้งมีค่าต่ำกว่าการวางสายอากาศแบบแนวนอน และขนาดและเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนที่แสดงให้เห็นว่าการวางสายอากาศแบบแนวตั้งมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าแบบแนวนอน ทั้งนี้เนื่องมาจากลักษณะของการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบเส้นตัวนำคดเคี้ยวที่มีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบรอบตัวตามแนวตั้งของสายอากาศ จึงทำให้เมื่อทำการวัดจากการวางสายอากาศในลักษณะอื่นๆ มีการลดทอนของช่องสัญญาณที่สูงกว่า ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของสัญญาณและช่องสัญญาณการสื่อสารได้ นอกจากนี้ปัจจัยภายนอกอื่นๆ ก็สามารถส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของช่องสัญญาณได้อีกด้วย ซึ่งจะต้องนำไปปัจจัยต่างๆ เหล่านี้มาใช้ในการพิจารณาเพิ่มเติม เพื่อหาวิธีที่ดีที่สุดที่ทำให้คุณภาพของช่องสัญญาณดีที่สุดในอนาคต

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับแนวทางการศึกษาวิจัยในอนาคต

จากงานวิจัยนี้เมื่อได้ทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง จะเห็นว่าระยะทางของสายอากาศ และปัจจัยทางกายภาพของร่างกายมนุษย์ เช่น ลักษณะรูปร่างหรืออวัยวะที่ไม่ได้เป็นแนวระนาบเรียบตรง มีผลต่อการสูญเสียของช่องสัญญาณ ทำให้ค่าการวัดข้อมูลบางตำแหน่งไม่สอดคล้องกัน และผู้ทำการทดลองยังไม่มีประสบการณ์มากพอสำหรับการวัดและการใช้เครื่องมือ เป็นต้น สิ่งต่างๆ เหล่านี้ล้วนเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของสัญญาณทั้งสิ้น ในอนาคตจึงจำเป็นต้องทำการศึกษาค้นคว้าปัจจัยต่างๆ เหล่านี้เพิ่มเติมต่อไป หรือสามารถพิจารณาโดยนำไปทดลองกับสายอากาศแบบอื่นๆ ที่เหมาะสมกับร่างกายมนุษย์ ทั้งนี้เพื่อหาวิธีที่ดีที่สุด มีการลดทอนของช่องสัญญาณน้อยที่สุด เพื่อสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ทางการแพทย์ และทำให้ความสามารถในการสื่อสารข้อมูลทางสุขภาพมีความถูกต้องแม่นยำมากที่สุด และเพื่อใช้ในการพัฒนาอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดสถานะทางสุขภาพบนร่างกายมนุษย์ต่อไปในอนาคต



รูปที่ 5.1 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับตรวจวัดสถานะทางสุขภาพบนร่างกายมนุษย์ [18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] B. Pedro, "Abstracting information on body area networks," The University of Cambridge, Jan. 2012.
- [2] K. Takizawa, S. Ishigai, K. Kitaichi, K. Hamaguchi and R. Kohno "On the Use of Ultra-Wideband Communications into Wireless Body Area Networks for Medical Check-up," International Symposium on Electromagnetic Compatibility Kyoto (Japan), Aug. 2009.
- [3] S. Promwong, "Quantitative Evaluation of Distortion Due to Antenna in Ultra Wideband Impulse Radio," Sep. 2006.
- [4] S. Promwong, "Optimum Template Receiver of Ultra Wideband Transmission Network for Short-Range Wireless Communication System," Information Networking ICOIN, Jan. 2009.
- [5] R. Yusnita, A. R. Tharek, N. Razali and P.S. Hall, "Ultra Wideband Technology and Its Applications," WOCN '08, 5th IFIP International Conference on, 2008.
- [6] Federal Communications Commission, "Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding UWB Transmission Systems," First Report, FCC 02-48, Apr. 2002.
- [7] K. Takizawa, T. Aoyagi and R. Kohno, "Channel Modeling and Performance Evaluation on UWB-based Wireless Body Area Networks," IEEE International Conference on Communications (ICC), pp. 1-5, 2009.
- [8] Z. Sahinoglu, S. Gezici and I. Guvenc, "Ultra-wideband Positioning Systems," Cambridge University Press, 2008.
- [9] M. Ghavami, L. B. Michael and R. Kohno, "Ultra Wideband Signals and Systems in Communication Engineering," 2nd edition New Jersey: John Wiley & Sons, 2007.
- [10] J. Takada, S. Promwong and W. Hachitani, "Extention of Friis' Transmission Formula for Ultra-Wideband Systems," IEICE Tech. Rep. WBS/MW 2003, pp. 45-50, May. 2003.
- [11] H. T. Friis, "A note on a simple transmission formula," Proc. IRE, vol. 34, no. 5, pp. 254-256, May. 1946.
- [12] P. Supanakoon, P. Tangtisanon, S. Promwong and J. Takada, "Path Loss and Matched Filter Gain for UWB Radio System," Proceedings of ISAP'04, 2004.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] J. Meeklay, "Body transfer function with UWB for BAN," Telecommunications Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, 2012.
- [14] P. Supanakoon, S. Tanchotikul, S. Promwong and J. Takada, "Ground Reflection Path Loss Considering Waveform Polarization and Ground Characteristic for UWB Communication," The 2005 Electrical Engineering, Computer, Telecommunication and Information Technology International Conference (ECTI-CON), pp. 630-633, May. 2005.
- [15] J. M. Choi, H. J. Kang and Y. S. Choi, "A Study on The Wireless Body Area Network Applications and Channel Models," 2008 Second International Conference on Future Generation Communication and Networking (FGCN), pp. 263-266, 2008.
- [16] S. Teawchim and S. Promwong, "Comparison of UWB Receiver Performance with Template Waveform Broadband Wireless System," ECTI-CON, pp. 936-939, 2009.
- [17] J. Ryckaert, P. D. Doncker, R. Meys, A. de Le Hoye and S. Donnay, "Channel model for wireless communication around human body," Electron. Lett., vol. 40, no. 9, pp. 543-544, Apr. 2004.
- [18] E. Karulf, "Body Area Networks," The Smart Society Gets Personal, Japan, 2008.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลงานวิจัยที่ได้นำเสนอในงานประชุมวิชาการนานาชาติ

- [1] S. Dechapankul, S. Teawchim and S. Promwong, “UWB Path Loss Model for BAN Transfer Function,” The 2013 International Electrical Engineering Congress (iEECON2013), pp. 48-51, Chiang Mai, Thailand, Mar. 2013.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*i*EECON 2013

THE 2013 INTERNATIONAL ELECTRICAL ENGINEERING CONGRESS

Chiang Mai, Thailand
March 13-15, 2013
Organized By



EEAAT
Electrical Engineering Academic Association (Thailand)

- International conference on communications
- International conference on electronics & control
- International conference on digital signal processing
- International conference on power & energy
- International conference on computer & IT

Sponsored by



Technical sponsored by



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UWB PATH LOSS MODEL FOR BAN TRANSFER FUNCTION

Siwara Dechapankul, Sanit Teawchim and Sathaporn Promwong

Department of Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand,
siwara.a5@gmail.com, ktsanit@kmitl.ac.th, kpsathap@kmitl.ac.th

ABSTRACT

This paper demonstrates the difference between male and female body results on Wireless Body Area Network (WBAN). Main purpose is to investigate UWB path loss model between male and female as well as compare the measurement deviation. The experiment is focusing on gender comparison in WBAN. This research operates on Ultra Wideband (UWB) at frequency 3 GHz to 5 GHz approximately. Method of measurement derived from free space transmission model, root raised cosine transmission signal and path loss model. The results explain that the variation of measurement in male is slightly less than that in female on the identical environment setup. From result of this experiment, the most suitable embedded devices and transceiver system for two human subjects could be designed for further study in the future.

Keywords: UWB, BAN, WBAN, Friis's formula, Path loss

1. INTRODUCTION

The human body will be a part of information network rapidly. That intelligent system is Body Area Network (BAN) which data can be transmitted to other people or electronic devices by way of touching. A number of researchers are now concentrating on developing electronic devices for human body to measure the oxygen saturation, electrocardiogram, glucose level and blood pressure. Those sensors consist of wearable and implantable.

With the advent of low-power and low-cost wireless connectivity technologies, BANs can now be implemented and deployed using available complementary technologies. Each of the sensors transmits collected information wirelessly to an external processing unit, located on the patient or at the patient's bedside. This system called Wireless Body Area Network (WBAN) [1]. The processing unit can then use traditional data networks, such as Ethernet, Wi-Fi or GSM, to transmit all information in real-time to a doctor's device or a specific server. The sensors used in a BAN generally require accuracy for their physiological parameter of interest and a certain level

of low-power signal processing as well as wireless capability.

Ultra wideband (UWB) communication system is a wireless communication technology in the frequency band from 3 GHz to 5 GHz [2]. In principle UWB technology is the use of short pulses instead of continuous waves to transmit information. The pulse directly generates a very wide instantaneous bandwidth signal according to the time scaling properties of the Fourier transform relationship between time, t , and frequency, f [3, 4].

In this paper, we study UWB path loss model for BAN transfer function using UWB operated at 3GHz to 5 GHz on WBAN by measuring two sets of data including men and women and each of them comprise 6 models. The next section provides Ultra wideband theory. Then, Section 3 introduces related parameters and measurement of male and female path loss. In section 4 present the result of simulation. Lastly, conclusions are given in Section 5.

2. ULTRA WIDEBAND THEORY

2.1 Free space transmission model

Input signal $v_i(t)$ at the transmitter port is expressed as the convolution of an impulse input [5, 6, 7] and the pulse shaping filter $h_i(t)$ as

$$v_i(t) = E_i \delta(t) * h_i(t), \quad (1)$$

where

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

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

$$H_{v-ris}(f) = \frac{V_i(f)}{E_i} = H_r(f)H_a(f)H_t(f) \cdot H_i(f), \quad (3)$$

where

$$\begin{aligned} H_a &= H_a(\theta_a, \varphi_a, f) \\ &= \theta_a H_{a\theta}(\theta_a, \varphi_a, f) + \varphi_a H_{a\varphi}(\theta_a, \varphi_a, f), \quad (4) \\ a &= r \text{ or } t \end{aligned}$$

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

$$H_r = \frac{\lambda}{4\pi d} \exp(-jkd), \quad (5)$$

is the free space transfer function where

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}, \quad (6)$$

is the propagation constant. The unit vectors $\hat{\theta}_a$ and $\hat{\phi}_a$ signifies the polarizations and they have relations as follows

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

$$\hat{\phi}_r = -\hat{\phi}_t, \quad (8)$$

2.2 Root raised cosine waveform

The root raised cosine pass band waveform is the waveform with root raised cosine spectrum and its spectral density [8] is defined as

$$V_t(f) = \begin{cases} 1; & \|f - f_c\| \leq \frac{(1-\beta)}{2T} \\ A; & \frac{(1-\beta)}{2T} < \|f - f_c\| \leq \frac{(1+\beta)}{2T} \\ 0; & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (9)$$

where

$$A = \sqrt{\frac{1}{2} \left[1 + \cos \left(\frac{\pi T}{\beta} \left[\|f - f_c\| - \frac{1-\beta}{2T} \right] \right) \right]}, \quad (10)$$

$T = \frac{1}{f_b}$ is the reciprocal of the symbol-rate and

$\beta = 0.3$ is the roll-off factor.

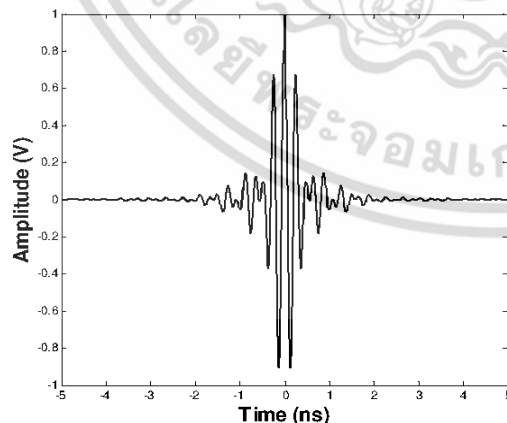


Figure 1 The transmitted waveform of UWB system

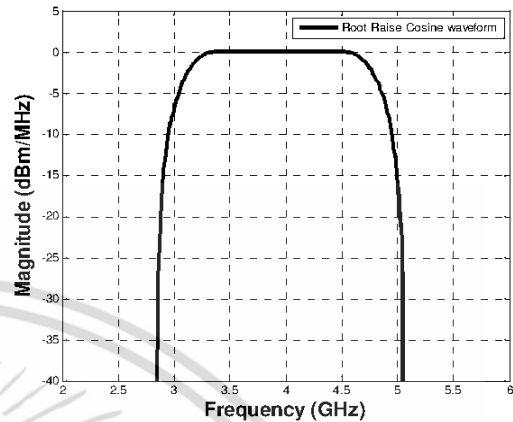


Figure 2 The spectrum signal of UWB system

2.3 Path loss model

The path loss is the difference (in dB) between the transmitted power and the received power [9]. The path loss model is used to predict the radio coverage area between the transmitter and the receiver [10]. The path loss exponent n , is a measure of decay in signal power with distance d . The path loss for any T-R separation distance is defined as [11]

$$PL_{dB}(d) = PL_{dB}(d_0) + 10n \log \left(\frac{d}{d_0} \right); \quad d \geq d_0, \quad (11)$$

where $PL_{dB}(d)$ is the average path loss at the reference distance, d_0 denotes the reference, $d_0 = 1$, n is the path loss exponent and d represents the T-R separation distance. The path loss increases as the distance increases.

There are two definitions of path losses based on average and peak powers. The peak power loss and average power loss from transmitter and receiver are equal for the distortionless condition. However, the distortion of UWB-IR waveform due to frequency and time dispersion of channel causes the difference. Therefore, both path losses based on average and peak power losses are necessary be modeled. This section, both path losses are mathematically modeled in the closed form formulas.

UWB-IR free space path loss based on average power loss in dB is defined as the ratio between the average power of transmitted and received waveform in frequency domain and it can be written as

$$PL_{f,a} = 10 \log \left[\frac{\int_{-\infty}^{\infty} |V_t(f)|^2 df}{\int_{-\infty}^{\infty} |V_r(f)|^2 df} \right], \quad (12)$$

UWB-IR free space path loss based on peak power loss in dB is defined as the ratio between the peak power of transmitted and received waveforms in time domain and it can be written as

$$PL_{\text{p}} = 10 \log \left\{ \frac{\max[V_{\text{r}}^2(t)]}{\max[V_{\text{t}}^2(t)]} \right\} \quad (13)$$

3. MEASUREMENT MODEL AND ENVIRONMENTAL SETUP

3.1 Measurement model

The vector network analyzer (VNA) was operated in the response measurement mode, where Port-1 was the transmitter port (T_x), and Port-2 was the receiver port (R_r), respectively. In the experiment we evaluate the result from various positions on the human body as shown in Fig. 3.

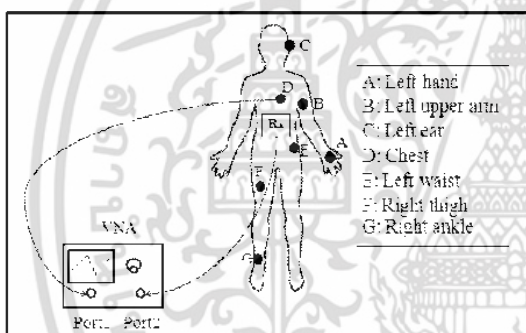


Figure 3 Measurement setup

3.2 Experimental setup

The significant parameters for the experiments are listed in Table 1. We simulate the experiment in the frequency band from 3 GHz to 5 GHz and use 201 frequency points. The antenna is a commercial, small-size, low profile antenna developed by meander line [12]. This experiment is investigating on 6 men and 6 women.

Table 1 Parameters of experiment

Parameters	Value
Frequency range	3 GHz to 5 GHz
Number of frequency points	201
Antennas type	Meander line
Number of samples	12

4. RESULTS AND DISCUSSION

This section describes experiment of the results from the linear regression simulation in order to calculate the values of path loss that we measure at any points on human body. This experiment can be divided into two categories by gender which consists of 6 men and 6 women. The result contains peak power loss and average power loss of male as shown in Fig. 4 and path loss and average power loss of female as shown in Fig. 5. Then, the result analysis is described as follows.

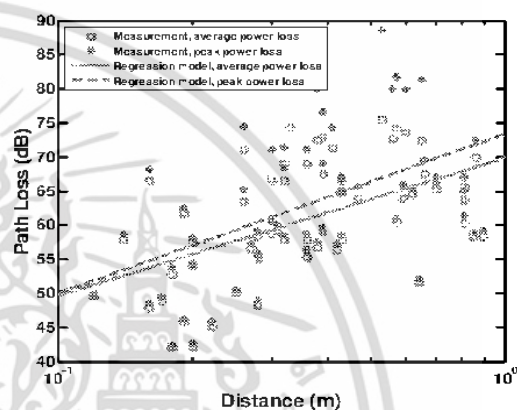


Figure 4 Path loss result of male

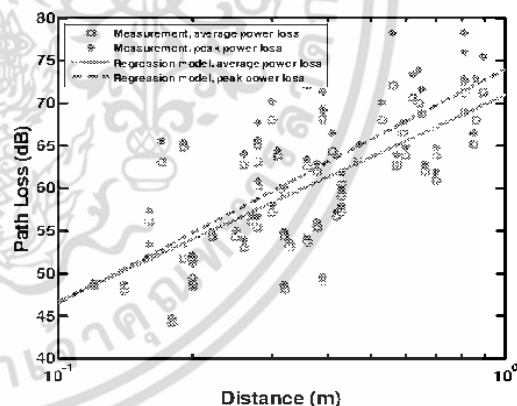


Figure 5 Path loss result of female

Figs. 4 and 5 show the result of UWB path loss model for both male and female body. From the graph above, there is a bit difference distortion between male and female. Furthermore, the slope of the peak power loss and average power loss in female has a higher slope than male, therefore the variation of measured value at particular points in female body is higher than male body.

5. CONCLUSION

This paper presents a study of UWB path loss model for BAN transfer function at various positions in human body using Ultra Wideband at frequency 3 GHz to 5 GHz on Wireless Body Area Network. The results from linear regression of path loss simulation describes that values we measure from 7 points on body including left hand, left upper arm, left ear, chest, left waist, right thigh and right ankle of women has fairly higher measurement variation than men by using the identical experiment.

According to the result from this experiment, the future work is to improve the transmission signal and receiver signal in order to obtain higher efficiency of transmission. Antenna altering is also another choice of the experiment in the future. Afterward, the best tuning parameters to design the entire system on WBAN offering the measured value at any points on male and female body is similar without gender effect.

6. REFERENCES

- [1] J. M. Choi, H. J. Kang and Y. S. Choi, "A Study on The Wireless Body Area Network Applications and Channel Models," *2008 Second International Conference on Future Generation Communication and Networking (FGCN)*, pp. 263-266, 2008.
- [2] K. Takizawa, S. Ishigai, K. Kitaichi, K. Hamaguchi and R. Kohno, "On the Use of Ultra-Wideband Communications into Wireless Body Area Networks for Medical Check-up," *International Symposium on Electromagnetic Compatibility Kyoto (Japan)*, August 2009.
- [3] H. F. Harmuth and S. Ding-Rong, "Antennas for Nonsinusoidal Wave Part I: Radiators," *IEEE Trans. Elec. Mag. Comput.*, vol. EMC-25, no. 1, pp. 13-24, Feb. 1983.
- [4] H. F. Harmuth and S. Ding-Rong, "Antennas for Nonsinusoidal Wave Part II: Sensors," *IEEE Trans. on Elec. Mag. Comput.*, vol. EMC-25, no. 1, no. 2, pp. 107-115, May 1983.
- [5] S. Promwong, "Optimum Template Receiver of Ultra Wideband Transmission Network for Short Range Wireless Communication System," *Information Networking ICON*, Chiang Mai (Thailand), January 2009.
- [6] J. Takada, S. Promwong, and W. Hachitani, "Extention of Friis' Transmission Formula for Ultra-Wideband Systems," *IEICE Tech. Rep., WBS/MW 2003*, pp. 45-50, May 2003.
- [7] H. T. Friis, "A note on a simple transmission formula," *Proc. IRE*, vol.34, no. 5, pp. 254-256, May 1946.
- [8] S. Promwong and J. Takada, "Evaluation of waveform distortion due to antennas on free space transmission in Ultra Wideband impulse radio," *APCC Tokyo (Japan)*, October 2008.
- [9] P. Supanakoon, S. Tanchotikul, S. Promwong and J. Takada, "Ground Reflection Path Loss Considering Waveform Polarization and ground Characteristic for UWB Communication," *The 2005 Electrical Engineering, Computer, Telecommunication and Information Technology International Conference (ECTI CON)*, pp. 630-63, May 2005.
- [10] S. Promwong and J. Takada, "Free space link budget estimation scheme for ultra wideband impulse radio with imperfect antennas," *IEICE Electronics Express*, vol. 1, no. 7, pp. 188-192, July 2004.
- [11] Leon W. Couch 2, *Digital and Analog Communication Systems*, Sixth Edition, 2002.
- [12] A. Kiphairoj, P. Supanakoon, S. Promwong and J. Takada, "Distortion Analysis of Ultra Wideband Pulse Waveforms with Meander Line Antenna," *International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT)*, pp. 922-925, September 2006.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาวสิวรา เดชาพันธุ์กุล
วัน เดือน ปีเกิด 5 ธันวาคม 2530
ที่อยู่ บ้านเลขที่ 212/17 หมู่ 9 ตำบลตากแดด อำเภอเมือง จังหวัดชุมพร 86000
ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2549-2552 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผลงานวิจัย

พ.ศ. 2556 S. Dechapankul, S. Teawchim and S. Promwong, "UWB Path Loss Model for BAN Transfer Function," The 2013 International Electrical Engineering Congress (IEECON2013), pp. 48-51, Chiang Mai, Thailand, Mar. 2013.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้