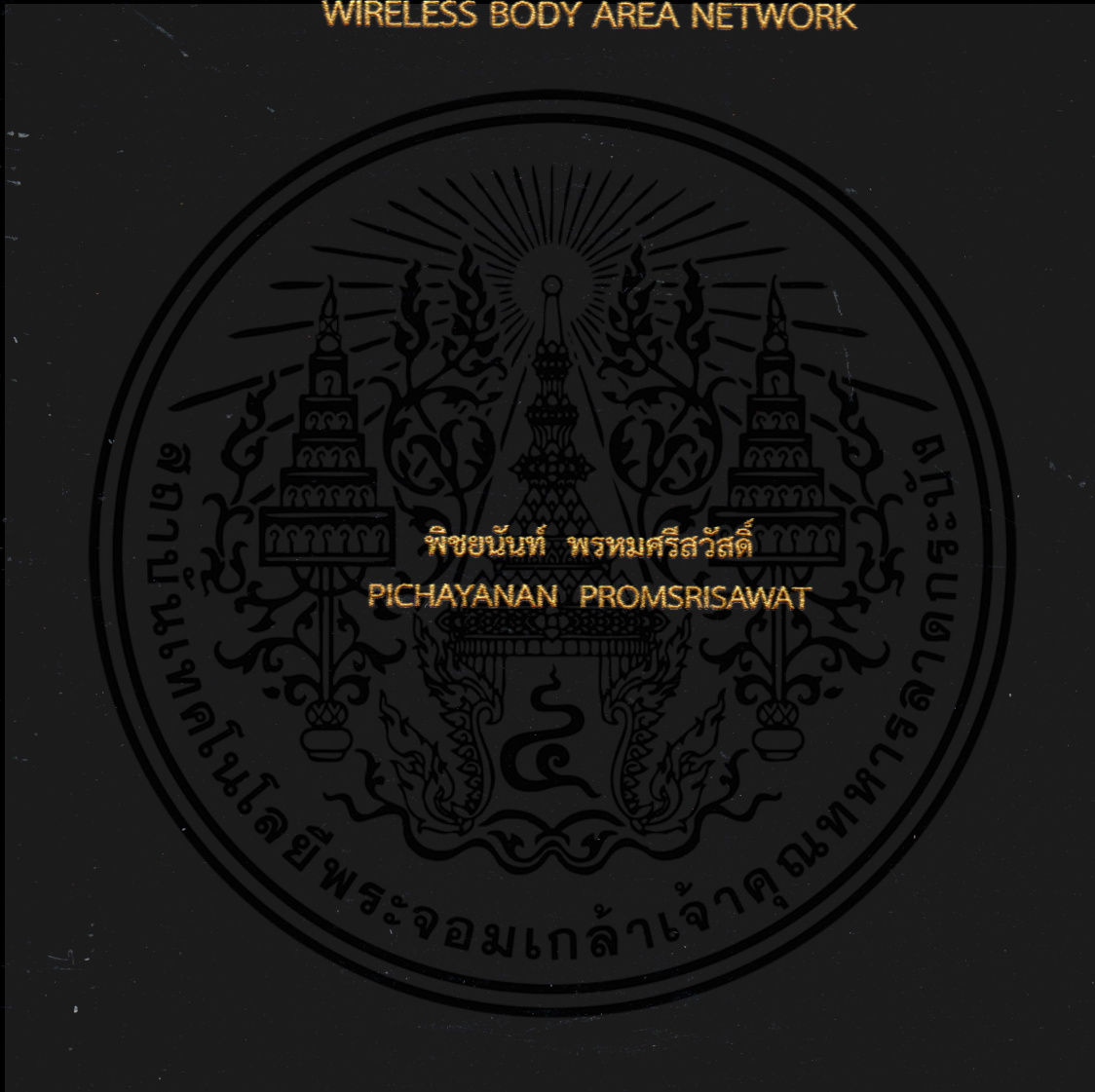


การปรับปรุงแบบจำลองการส่งผ่านแถบกว้างยิ่งประกอบด้วย
ร่างกายมนุษย์สำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์

MODIFIES HB-UWB TRANSMISSION MODEL FOR
WIRELESS BODY AREA NETWORK



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2561

KMITL-2018-EN-M-010-175

การปรับปรุงแบบจำลองการส่งผ่านแถบกว้างยิ่งประกอบด้วย
ร่างกายมนุษย์สำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์

MODIFIES HB-UWB TRANSMISSION MODEL FOR
WIRELESS BODY AREA NETWORK



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2561

KMITL-2018-EN-M-010-175

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MODIFIES HB-UWB TRANSMISSION MODEL FOR
WIRELESS 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
2018

KMITL-2018-EN-M-010-175

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2018

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงแบบการจำลองการส่งผ่านแถบกว้างยิ่งประกอบด้วย ร่างกายมนุษย์สำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์
นักศึกษา	นายพิชยนันท์ พรหมศรีสวัสดิ์
รหัสประจำตัว	56601426
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2561
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร. สถาพร พรหมวงศ์

บทคัดย่อ

ปัจจุบันในงานวิจัยเกี่ยวกับเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายสำหรับระบบสื่อสารระยะใกล้ ดังนั้นจึงเรื่องที่น่าสนใจและควรความรู้ถึงคุณลักษณะและผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ (HB) บนช่องสัญญาณการส่งผ่านอัลตราไวด์แบนด์ (UWB) ซึ่งการส่งสัญญาณไร้สายของอัลตราไวด์แบนด์บนร่างกายมนุษย์ สามารถถูกลดทอนสัญญาณได้มากจากการส่งผ่านช่องว่างเพราะการกระจายตัวของเสาอากาศในระบบอัลตราไวด์แบนด์บนร่างกายมนุษย์ ดังนั้นควรที่จะเข้าใจลักษณะของเสาอากาศกับร่างกายมนุษย์ โดยจะมีผลต่อความเพี้ยนของรูปคลื่นซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็น และการจำลอง ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาความเพี้ยนรูปคลื่นเนื่องจากฟังก์ชันการถ่ายโอนสำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ (WBAN) โดยจะขึ้นอยู่กับการวัดค่าข้อมูลของอัลตราไวด์แบนด์บนร่างกายมนุษย์ รูปแบบของรูปคลื่นจะพิจารณาที่ทางฝั่งตัวรับสัญญาณเพื่อเพิ่มอัตราส่วนสัญญาณส่งต่อสัญญาณรบกวน (SNR) ให้มากที่สุด สำหรับการประเมินผลลัพธ์นี้อยู่บนพื้นฐานจากการขยายสูตรการส่งผ่านของฟรีส เทคนิคนี้ให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำและมีประโยชน์อย่างมากสำหรับการออกแบบและการประเมินการส่งผ่านรูปคลื่นของอัลตราไวด์แบนด์บนร่างกายมนุษย์สำหรับเทคโนโลยีโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลกระทบของรูปแบบของรูปคลื่นและความเพี้ยนของรูปคลื่นในฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณการส่งผ่านอัลตราไวด์แบนด์ที่ประกอบด้วยร่างกายมนุษย์

Title	Modifies HB-UWB Transmission Model For Wireless Body Area Networks
Student	Mr. Pichayanan Promsrisawat
Student ID	56601426
Degree	Master of Engineering
Program	Telecommunications Engineering
Year	2018
Thesis Advisor	Dr. Sathaporn Promwong

ABSTRACT

Recently, many research works on wireless communication technology for short range communication systems. The human body (HB) on ultra wideband (UWB) technology should be study. The wireless HB-UWB transmission waveform can be extremely distorted through a channel even for free-space transmission because of wideband antenna dispersion in HB-UWB system. Therefore, the understand of antenna characteristics with human body, which effects on waveform distortion, is necessary. This paper presents the waveform distortion due to human body in transfer function for wireless body area network (WBAN) applications based on HB-UWB measurement data. The template waveform is considered at the receiver side to maximize the signal to noise ratio (SNR) for evaluation. In this results are evaluate based on the extended Friis' transmission formula. This technique gives very accurate results and is very useful for the design and evaluation of HB-UWB transmission waveform for WBAN technology, especially focusing on the effect of template waveform and waveform distortion in HB-UWB channel transfer function.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษาอาจารย์ ดร.สถาพร พรหมวงศ์ ที่ให้การอนุเคราะห์และสนับสนุนงานวิจัย ชี้แนะแนวทางในการแก้ปัญหาและคอยดูแลตลอดระยะเวลาที่ทำงานวิจัย ตลอดจนถ่ายทอดวิชาความรู้ความสามารถให้ศิษย์ได้เข้าใจได้อย่างเต็มที่ รวมทั้งคอยฝึกฝนอบรมสั่งสอนให้มีความสามารถในการทำวิจัยได้ดี ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่าน และขอกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่ได้แนะนำและตรวจสอบแก้ไขทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่าน ที่ช่วยให้ความรู้ให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางการวิจัยเสมอมา

ขอขอบคุณพี่ๆ นักศึกษาปริญญาเอกและเพื่อน ๆ ปริญญาโท โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณธนดล เตียงทอง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ให้ความรู้ให้คำปรึกษาแนะนำ และช่วยเหลือทางด้านเทคนิคในการใช้เครื่องมือต่างๆ อย่างเต็มที่ จนเป็นผลให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถดำเนินการได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ รวมทั้งขอขอบคุณน้องๆ นักศึกษาห้องปฏิบัติการวิจัย UWB-RSLAB ที่คอยให้ความช่วยเหลือในด้านการทดลองวัดผลจนเสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ญาติพี่น้อง ผู้ซึ่งสนับสนุนในทุกด้านของการศึกษา และเป็นกำลังใจด้วยดีตลอดมา ผู้วิจัยขอขอบความสำเร็จในครั้งให้กับท่านทั้งบิดาและมารดา ถ้าไม่มีท่าน ผู้วิจัยคงไม่มีวันนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงได้จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

พิชยนันท์ พรหมศรีสวัสดิ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	3
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดในการวิจัย.....	4
1.5 ขอบเขตการศึกษา.....	4
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	5
บทที่ 2 โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ด้วยแถบกว้างยิ่ง.....	6
2.1 กล่าวนำ.....	6
2.1.1 โครงข่ายบนร่างกายมนุษย์แบบไร้สายแบบการตรวจสอบดูแลรักษาสุขภาพ ทางการแพทย์.....	7
2.1.2 การประยุกต์ใช้งาน.....	8
2.2 ประวัติการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง.....	11
2.3 ระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง.....	12
2.3.1 ข้อได้เปรียบของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง.....	12
2.4 ข้อกำหนดของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง.....	14
2.4.1 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา.....	14
2.4.2 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในยุโรป.....	16
2.4.3 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในญี่ปุ่น.....	20
2.4.4 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในเกาหลี.....	21
2.4.5 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในจีน.....	22
2.5 การประยุกต์และการนำระบบแถบกว้างยิ่งไปใช้งาน.....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่อ IV อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.1 การประยุกต์ใช้งานเครือข่ายภายในอาคารสำนักงาน.....	23
2.5.2 การประยุกต์ใช้งานเครือข่ายภายในที่พักอาศัย.....	24
2.5.3 การประยุกต์ใช้งานเครือข่ายบนร่างกายมนุษย์.....	25
2.5.4 การประยุกต์ใช้งานในการค้นหาตำแหน่ง.....	25
2.6 สรุป.....	26
บทที่ 3 การวิเคราะห์ของช่องสัญญาณการส่งผ่านแบบแถบกว้างสำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์.....	27
3.1 กล่าวนำ.....	27
3.2 การส่งผ่านสัญญาณระบบแถบกว้างยิ่งที่ประกอบด้วยร่างกายมนุษย์.....	27
3.2.1 ผลตอบสนองความถี่ช่องสัญญาณ.....	28
3.2.2 ผลตอบสนองช่องสัญญาณอิมพัลส์.....	29
3.3 การสูญเสียเชิงวิถี.....	30
3.4 การประเมินผลการเชื่อมโยงในอวกาศว่าง.....	31
3.4.1 แบบจำลองการส่งผ่านสำหรับระบบ UWB-IR	31
3.4.2 เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์	32
3.4.3 ความเป็นไปได้ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์แบบเหมาะสมที่สุด.....	32
3.4.4 อัตราขยายการส่งผ่าน.....	33
3.5 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน.....	34
3.6 ค่าการกระจายทางเวลา.....	34
3.7 อัตราความผิดพลาดบิต.....	35
3.8 สรุป.....	36
บทที่ 4 การจำลองการวัดสัญญาณไร้สายบนร่างกายมนุษย์แถบกว้างยิ่งความถี่ขึ้นเนื่องจากสายอากาศ.....	37
4.1 กล่าวนำ.....	37
4.2 การเตรียมการสำหรับทดลองวิจัยวัด.....	37
4.2.1 แบบจำลองของสัญญาณที่ใช้ส่ง.....	39
4.3 สายอากาศที่ใช้ในการทดลองวิจัย.....	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่อ V ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

4.4	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง.....	43
4.5	สรุป.....	43
บทที่ 5	ผลการทดลองวิจัย.....	44
5.1	กล่าวนำ.....	44
5.2	หลักการวิเคราะห์ของผลการทดลองวิจัย.....	44
5.3	ผลการวิเคราะห์.....	45
5.3.1	ขนาดและเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอน.....	45
5.3.2	ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ.....	45
5.3.3	อัตราการขยายสัญญาณในการส่งผ่านแถบกว้างยิ่งในกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์และในกรณีที่ประกอบด้วยร่างกายมนุษย์ที่มีโลหะอยู่ในร่างกาย..	51
5.4	สรุป.....	53
บทที่ 6	สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	54
6.1	กล่าวนำ.....	54
6.2	สรุปผลของการศึกษาทดลองวิจัย.....	54
6.2.1	ผลการวิเคราะห์ช่องสัญญาณการส่งผ่านกรณีที่ไม่มีผลจากร่างกายมนุษย์.....	54
6.2.2	ผลการวิเคราะห์ช่องสัญญาณการส่งผ่านกรณีที่มีผลจากร่างกายมนุษย์.....	54
6.3	ข้อเสนอแนะและแนวทางการวิจัยต่อไปในอนาคต.....	55
เอกสารอ้างอิง.....		57
ภาคผนวก.....		59
ประวัติผู้เขียน		61

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงานโดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาสำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร.....	15
2.2	ค่าของกำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิกในแต่ละระบบ.....	18
2.3	วิธีที่ใช้ในการลดการรบกวนที่นำไปใช้กับค่ากำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิกที่ -41.3 dBm/MHz.....	18
2.4	ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร	19
4.1	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง	43



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	การเชื่อมต่อโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์..... 2
1.2	หลักการวิเคราะห์ของรูปแบบการส่งผ่านสำหรับระบบแถบกว้าง..... 3
2.1	เปรียบเทียบช่วงการสื่อสารของเทคโนโลยีไร้สาย..... 6
2.2	ระบบตรวจสอบทางการแพทย์ 8
2.3	การประยุกต์ใช้งานในหลายๆ ด้าน..... 9
2.4	การประยุกต์ใช้งานในการช่วยเหลือผู้ที่มีความพิการทางสายตาในการค้นหา..... 10
2.5	การใช้งานด้านสื่อผสมระยะสั้น..... 11
2.6	การเปรียบเทียบระดับความหนาแน่นของแถบกำลังงานระหว่างแถบแคบอื่นๆ และแถบ กว้างยิ่ง..... 13
2.7	สเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งโดย FCC 16
2.8	ข้อจำกัดสเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งโดย EU..... 17
2.9	สเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคารโดย FCC..... 19
2.10	สเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งภายนอกอาคารโดย FCC..... 20
2.11	สเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งของประเทศญี่ปุ่น..... 21
2.12	สเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งของประเทศเกาหลี..... 22
2.13	สเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งของประเทศจีน..... 23
2.14	การนำเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานเครือข่ายภายในอาคารสำนักงาน..... 24
2.15	การนำเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานเครือข่ายภายในบ้านพักอาศัย..... 24
2.16	การนำเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานเครือข่ายบนร่างกายมนุษย์..... 25
2.17	การนำเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานค้นหาตำแหน่ง..... 23
3.1	ระบบของการส่งผ่านแถบกว้างยิ่งสำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์..... 27
3.2	ระบบเชิงเส้น..... 28
3.3	ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของระบบในโดเมนความถี่..... 28
3.4	ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของระบบในโดเมนเวลา..... 29
3.5	ตัวอย่างหน้าต่างการแผ่ประวิงกำลัง..... 34
4.1	การจัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับการทดสอบ..... 38
4.2	การปรับสายอากาศทางด้านรับในมุมมองจากด้านบนที่ประกอบมนุษย์ในห้องไร้การ สะท้อน..... 38
4.3	รูปคลื่นสัญญาณที่ใช้ในการส่งของแถบกว้างยิ่งในโดเมนทางเวลา..... 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่อVIIIจนถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4	สเปคตรัมที่ใช้ในการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่งในโดเมนทางความถี่..... 40
4.5	โครงสร้างและขนาดของสายอากาศแบบกรวยคู่ (Biconical antenna)..... 41
4.6	สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ $ S_{11} $ คุณสมบัติของสายอากาศแบบกรวยคู่..... 41
4.7	สายอากาศแบบเส้นกลาง (Meander line antenna)..... 42
4.8	สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ $ S_{11} $ คุณสมบัติของสายอากาศแบบเส้นกลาง..... 42
5.1	บล็อกไดอะแกรมของการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์..... 44
5.2	ขนาดฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่ง..... 46
5.3	เฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่ง..... 46
5.4	ขนาดฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งประกอบด้วยร่างกายมนุษย์..... 47
5.5	เฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งประกอบด้วยร่างกายมนุษย์..... 47
5.6	ภาพตัดขวางการประวิงกำลังในกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์..... 48
5.7	ภาพตัดขวางการประวิงกำลังในกรณีประกอบด้วยร่างกายมนุษย์ร่างกายมนุษย์..... 48
5.8	การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างกรณีที่มีร่างกายมนุษย์และในกรณีที่ประกอบด้วยร่างกายมนุษย์..... 49
5.9	ตัวอย่างรูปคลื่นที่รับได้ในกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์ที่มุม 0, 90 และ 180 องศา..... 50
5.10	ตัวอย่างรูปคลื่นที่รับได้ในกรณีที่ประกอบด้วยร่างกายมนุษย์ที่มุม 0, 90 และ 180 องศา. 50
5.11	อัตราการขยายส่งผ่านแถบกว้างยิ่งกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์..... 52
5.12	อัตราการขยายส่งผ่านแถบกว้างยิ่งกรณีที่ประกอบด้วยร่างกายมนุษย์..... 52
6.1	ระบบแถบกว้างยิ่งสำหรับการประยุกต์ใช้ในโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์..... 55
6.2	ระบบแถบกว้างยิ่งสำหรับการประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ไร้สาย..... 56
6.3	ระบบแถบกว้างยิ่งสำหรับการประยุกต์ใช้ในโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์..... 56

บทที่ 1

บทนำ

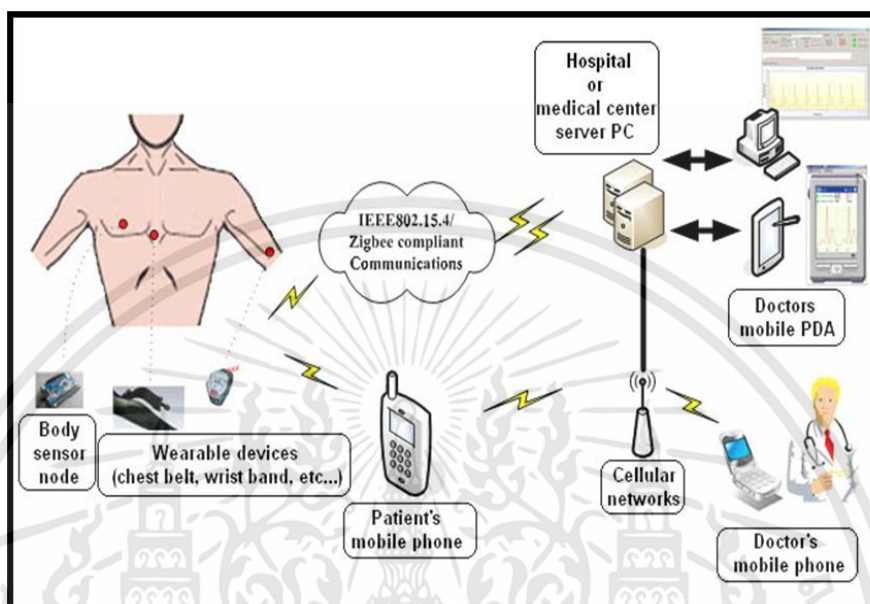
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การศึกษาวิจัยทางด้านเทคโนโลยีของการสื่อสารแบบไร้สายได้พัฒนาอย่างรวดเร็วและได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้น เพื่อเพิ่มความสะดวกรวดเร็วในการติดต่อสื่อสารเช่นการสื่อสารส่วนบุคคล การสื่อสารระยะสั้นระหว่างอุปกรณ์ภายในอาคารสำนักงาน บ้านพักอาศัย และทางการแพทย์ ซึ่งเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายนี้มีอัตราการส่งข้อมูลที่สูง เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ได้อย่างสมบูรณ์และมีประสิทธิภาพสูงสุดจึงได้มีการนำเอาเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายที่เรียกว่าแถบกว้างยิ่ง (Ultra-wideband) เข้ามาใช้งานเพื่อเพิ่มความจุช่องสัญญาณมาก ซึ่งเป็นคุณลักษณะเด่นและเป็นหัวใจสำคัญที่ทำให้สามารถส่งข้อมูลได้ปริมาณมาก รวมถึงยังทนทานต่อการถูกรบกวนจากสัญญาณ มีการรบกวนต่อสัญญาณระบบอื่นต่ำ และยังสามารถในการวัดความแตกต่างของระยะทางได้อย่างแม่นยำ มีการใช้กำลังงานที่ต่ำ เครื่องรับส่งสัญญาณมีความซับซ้อนต่ำ ทำให้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการสื่อสารเชิงพาณิชย์โดยเฉพาะในระบบการสื่อสารไร้สาย

การสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนั้นนับเป็นนวัตกรรมใหม่สำหรับระบบการสื่อสารไร้สายแถบกว้าง โดยมีการใช้แถบความถี่ในการส่งที่กว้างมากประกอบกับใช้กำลังส่งที่น้อย โดยใช้สัญญาณที่มีรูปคลื่นสัญญาณเป็นพัลส์ที่แคบมาก [1] อยู่ในระดับนาโนวินาที (Nano second :ns) ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับสัญญาณในอุดมคติที่เรียกว่าสัญญาณอิมพัลส์ (Impulse signal) โดยจะไม่มี การนำสัญญาณข้อมูลไปทำการมอดูเลตกับคลื่นพาห้ สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งจะใช้แบนวิidthในการส่งมากกว่าหรือเท่ากับ 20% ของแถบความถี่กลาง หรือมีการใช้แถบความถี่มากกว่า 500 MHz ซึ่งพบว่ามีค่ามากกว่าแถบความถี่ของระบบการสื่อสารไร้สายที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำเอาเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานกับระบบเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล (Wireless Personal Area Network: WPAN) ซึ่งถูกกำหนดให้อยู่ในมาตรฐานของ IEEE 802.15.3a [2] โดยจะเป็นลักษณะการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล เครื่องพิมพ์ เครื่องสแกนเนอร์ กล้องถ่ายรูปดิจิทัล กล้องถ่ายวิดีโอ โดยสามารถรองรับอัตราการส่งข้อมูลที่สูงประมาณ 110 Mb/s ในระยะทาง 10 เมตร และจะมีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงขึ้นถึง 480 Mb/s ในระยะทาง 2 เมตร [3] และจากข้อกำหนดของคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal communication commission : FCC) เพื่อไม่ให้รบกวนกับระบบสื่อสารอื่น ระดับความแรงของสัญญาณมีค่าไม่เกิน -41 dBm/MHz [1]

ในการนำเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งมาใช้ในการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ภายในอาคาร สัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากสายอากาศ อาจถูกลดทอนกำลังงาน (Power attenuation) จากผนัง กำแพง หน้าต่าง วัสดุอุปกรณ์เครื่องใช้ต่างๆ นอกจากนี้ยังมีอีกปัจจัยหนึ่งที่สามารถส่งผลกระทบต่อช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งได้เช่นกัน นั่นก็คือ ร่างกายมนุษย์ เพราะมีความเป็นไปได้ที่ร่างกายมนุษย์จะไปรบกวนหรือบดบังเส้นทางการเดินทางของคลื่น และหากนำเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่ง

มาใช้ในการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์โครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ไปยังเครื่องมือวัด อาจมีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลกระทบต่อ เช่น จากสิ่งแวดล้อม หรือร่างกายมนุษย์ ดังแสดงในรูปที่ 1.1 ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการตรวจสอบว่าร่างกายมนุษย์นั้นส่งผลอย่างไรต่อช่องสัญญาณและสายอากาศในการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง



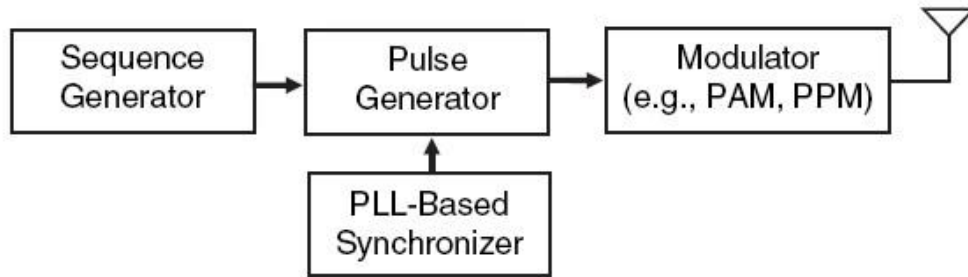
รูปที่ 1.1 การเชื่อมต่อโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ [4]

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

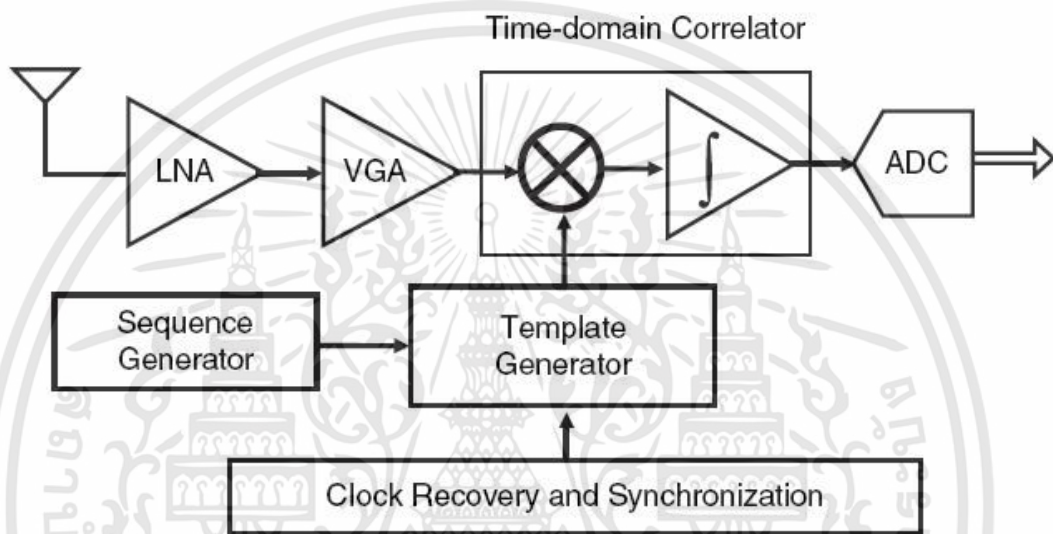
ในงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ที่มีต่อช่องสัญญาณการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่ง บนพื้นฐานการส่งผ่านของฟรีส โดยได้พิจารณาอุปกรณ์ที่ใช้งานและส่งผ่านและการรับแบบสหสัมพันธ์ (Correlation receiver) ได้ใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ (Vector network analyzer: VNA) เป็นอุปกรณ์หลักและใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ (Biconical) เป็นสายอากาศส่ง (Tx-antenna) และสายอากาศแบบเส้นกลาง (Meander line antenna) เป็นสายอากาศด้านรับ (Rx-antenna) สำหรับการส่งผ่านของระบบแถบกว้างยิ่ง ภายในห้องไร้การสะท้อนของคลื่น (Anechoic chamber) ดังวัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง ข้อกำหนดและการประยุกต์ใช้งาน
2. เพื่อศึกษาทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์บนพื้นฐานสูตรการส่งผ่านของฟรีส (Friis' transmission formula) และการประยุกต์สูตรของฟรีสให้มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับระบบการส่งผ่านแถบกว้างยิ่ง
3. เพื่อนำเสนอเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ที่มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับระบบแถบกว้างยิ่ง โดยการสหสัมพันธ์ด้วยสัญญาณที่รับได้ (Received signal correlation) และการสหสัมพันธ์ด้วยสัญญาณไอโซทรอปิก (Isotropic correlation) และจะได้ค่าอัตราส่วนของกำลังสัญญาณต่อกำลังสัญญาณรบกวนสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) ด้านส่ง



(b) ด้านรับ

รูปที่ 1.2 หลักการวิเคราะห์ของรูปแบบการส่งผ่านสำหรับระบบแถบกว้าง

4. ได้พิจารณาใช้สายอากาศแบบแถบกว้างสองชนิดด้วยกันในการประเมินผลการวัดหรือการทดสอบการส่งผ่านแถบกว้างก็คือสายอากาศแบบกรวยคู่ และสายอากาศไดโพลแบบเส้นกลาง
5. เพื่อทำการประเมินผลความเพี้ยนของช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งสำหรับโครงข่ายบนร่างการมนุษย์อันเนื่องมาจากร่างกายมนุษย์ สายอากาศ และโลหะ โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างกรณีอากาศว่างและมีผลกระทบ อันเนื่องมาจากร่างกายมนุษย์ สายอากาศ และโลหะ

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้ทำการพิจารณาผลที่เกิดขึ้นจากร่างกายมนุษย์ที่มีต่อช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งบนพื้นฐานของการวัด ซึ่งในขั้นตอนของการวัดภายในห้องไร้การสะท้อนของคลื่นนั้นเป็นการกำหนดตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับสภาวะแวดล้อมรอบข้าง ความสูงของสายอากาศ และระยะทางระหว่างสายอากาศให้คงที่ เพื่อวิเคราะห์ถึงผลที่เกิดจากร่างกายมนุษย์แต่เพียงอย่างเดียวอีกทั้งยังทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจัดตำแหน่งของสายอากาศทางด้านส่งให้อยู่ในแนวนอน (Horizontal) ทำให้รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเป็นแบบชี้ทิศทางที่มีลำคลื่นหลัก (Main beam) พุ่งตรงไปยังร่างกายมนุษย์ ซึ่งทำให้ช่วยลดผลการสะท้อนของวัตถุในทิศทางที่ไม่ต้องการพิจารณาได้ในระดับหนึ่ง อย่างไรก็ตามยังมีผลของการสูญเสียที่เกิดจากสายส่งสัญญาณและคอนเนคเตอร์ที่ใช้ในการทดลองอยู่บ้าง แต่ก็ได้ถูกชดเชยโดยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ทำให้ผลที่เกิดขึ้นไม่กระทบต่อผลการวัดมากนัก โดยนำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญบนพื้นฐานสูตรการส่งผ่านของฟรีสและทางด้านรับได้ใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์สองแบบมาเปรียบเทียบกันระหว่างเครื่องรับแบบสัญญาณที่รับได้และเครื่องรับแบบไอโซทรอปิกเพื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณ ผลจากการวิจัยสามารถนำมาทำการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้เหมาะสมกับการใช้งาน และประยุกต์ใช้งานกับโครงข่ายทางด้านการแพทย์ไร้สาย เป็นต้น

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ในหัวข้อวิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาถึงผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ที่มีต่อคุณลักษณะของช่องสัญญาณคลื่นวิทยุแบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งพิจารณาบนพื้นฐานของการวัดโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ โดยใช้สายอากาศแบบกรวยคู่เป็นสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศเชิงพาราโบลาที่มีขนาดเล็ก ซึ่งพัฒนาขึ้นโดยบริษัท Skycross ในสหรัฐอเมริกา[5] โดยพิจารณาเปรียบเทียบที่ด้านรับโดยใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ และเครื่องรับแบบไอโซทรอปิก ดังรูปที่ 1.2 โดยทำการวัดตลอดช่วงความถี่ตั้งแต่ 3 GHz ถึง 11 GHz ครอบคลุมช่วงความถี่ที่กำหนดให้ใช้งานในการสื่อสาร คือตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ซึ่งถูกกำหนดโดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา [6] โดยในการวัดได้จำลองและกำหนดลักษณะวิธีการวัดอยู่ 2 แบบคือ กรณีที่มีร่างกายมนุษย์และกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์เพื่อเปรียบเทียบถึงผลที่เกิดขึ้นต่อช่องสัญญาณ อีกทั้งยังทำการทดสอบในกรณีที่สายอากาศทางด้านรับมีการเปลี่ยนแปลงมุมโดยได้ปรับจากมุม 0 องศา ถึง 360 องศา โดยเคลื่อนที่ครั้งละ 5 องศา โดยลักษณะวิธีการวัดที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนี้กำหนดขึ้นเพื่อเป็นการทดสอบผลกระทบที่สามารถเกิดขึ้นในกรณีที่น่าไปใช้งานจริง หลังจากทำการวัด ผลที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อหาผลการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่เกิดขึ้นว่ามีการผิดเพี้ยนไปหรือไม่อย่างไร แล้วทำการประเมินผลที่ได้จากการวิจัยและการวิเคราะห์ โดยได้มีการประยุกต์การส่งผ่านของฟรีส (Extention Friis' transmission formula) เพื่อนำมาวิเคราะห์ในระบบการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่ง การเปรียบเทียบผลระหว่างกรณีการวัดที่มีผลจากร่างกายมนุษย์และไม่มีผลจากร่างกายมนุษย์ จะทำให้สามารถสังเกตเห็นผลกระทบที่เกิดขึ้นจากร่างกายมนุษย์ได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่เกิดการบดบังของร่างกายอย่างสมบูรณ์นั้นจะเกิดการเปลี่ยนของพารามิเตอร์ต่าง ๆ มากกว่ากรณีอื่นๆ ซึ่งจะแสดงให้เห็นในบทต่อไป

1.5 ขอบเขตการศึกษา

วิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ที่มีต่อช่องสัญญาณการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งในขั้นตอนของการวัดภายในห้องไร้การสะท้อนของคลื่นได้ทำการกำหนดตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับสภาวะแวดล้อม ความสูงของสายอากาศ ระยะทางระหว่างสายอากาศทั้งสอง องค์ประกอบให้คงที่เพื่อนำผลที่ได้จากการวัดมาทำการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญบน ทฤษฎี

และหลักการพื้นฐานของการส่งผ่านของฟรีส จากนั้นได้ทำการศึกษาและประเมินค่าประสิทธิภาพของสัญญาณและรูปคลื่นสัญญาณพัลส์ทางด้านรับ โดยใช้เครื่องรับแบบสทึมพัลส์สองแบบมาเปรียบเทียบกับระหว่างเครื่องรับแบบสัญญาณที่รับได้และเครื่องรับแบบไอโซทรอปิก เพื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณในกรณีที่มีผลและไม่มีผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์ ซึ่งจะพิจารณาคุณสมบัติของขนาดและเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอน ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ และอัตราการขยายสัญญาณ ผลจากการวิจัยสามารถนำมาทำการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้เหมาะสมกับการใช้งาน และประยุกต์ใช้งานกับโครงข่ายทางด้านการแพทย์ไร้สาย

1.6 ขั้นตอนการศึกษา

สำหรับแนวคิดและหลักการที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น สามารถสรุปเป็นขั้นตอนการศึกษาสำหรับวิทยานิพนธ์นี้เป็น 6 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงบทนำ ซึ่งประกอบไปด้วยความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมติฐานของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัยขอบเขตและขั้นตอนการวิจัย

บทที่ 2 กล่าวถึงเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายแบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งประกอบด้วยบทนำประวัติความเป็นมาของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง การสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง ข้อบังคับของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งและบทสรุป

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีและการวิเคราะห์การสูญเสียในการส่งผ่านของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งประกอบไปด้วยบทนำ, ฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณระบบแถบกว้างยิ่ง, ทฤษฎีการสูญเสียเชิงวิถี, การวิเคราะห์ระบบแถบกว้างยิ่งโดยใช้หลักการพื้นฐานของฟรีส อัตราการขยายแถบกว้างยิ่ง, อัตราความผิดพลาดบิต และบทสรุป

บทที่ 4 กล่าวถึงขั้นตอนการวัดช่องสัญญาณและแบบจำลองช่องสัญญาณ ซึ่งประกอบด้วยบทนำ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองวิจัย รูปแบบจำลองการวัดและบทสรุป

บทที่ 5 ผลการทดลองวิจัยและการประเมินวิเคราะห์เปรียบเทียบผลในกรณีที่มีร่างกายมนุษย์และไม่มีร่างกายมนุษย์มาดบังสายอากาศ โดยประเมินผลการวัดและการวิเคราะห์บนพื้นฐานการส่งผ่านของฟรีสสำหรับการส่งผ่านแถบกว้างยิ่ง

บทที่ 6 บทสรุป ผลการวิจัย และข้อเสนอแนะแนวทางการวิจัยในอนาคต

บทที่ 2

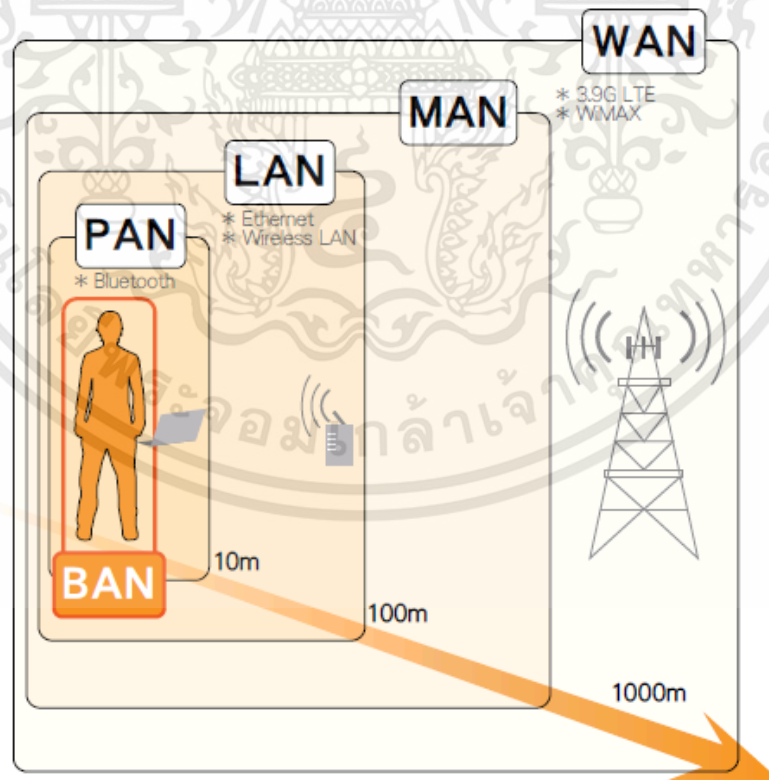
โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ด้วยแถบกว้างยิ่ง

2.1 กล่าวนำ

โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ (Wireless Body Area Network: WBAN) ได้ถูกกล่าวถึงครั้งแรกใน ส่วนของโครงข่ายส่วนบุคคล (Personal Area network: PAN) และ Zimmermann ได้รับการยกย่องในการ สร้างสรรค์แนวคิดเรื่องโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ โดยมีพื้นฐานจากงานของเขาที่สถาบันเทคโนโลยีแห่ง แมสซาชูเซตส์ (MIT) และที่ บริษัทไอบีเอ็มเขาได้พูดถึงการรวมกันของอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่มีขนาดเล็ก และ การเชื่อมต่อการสื่อสารไร้สายระยะสั้น การเชื่อมต่อนั้นถูกสร้างขึ้นผ่านการติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ใกล้เคียง น้อยกว่า 2 เมตร ในปี 2004 โครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ ได้อธิบายสภาพแวดล้อมรวมถึงบริเวณที่ใกล้ที่สุดซึ่งก็ คือส่วนหนึ่งของร่างกายมนุษย์

กลุ่มทำงานเฉพาะ 15.6 (TG6) ของคณะกรรมการจาก IEEE ซึ่งมีชื่ออย่างเป็นทางการว่า IEEE 802 Local and Metropolitan Area Network Standard Committee ได้กำหนดมาตรฐานของโครงข่ายบน ร่างกายมนุษย์ไร้สาย (Wireless BAN: WBAN)

รูปที่ 2.1 แสดงขอบเขตของระบบการสื่อสารไร้สายอื่นๆ โดยจะเห็นว่าโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ไร้สาย ได้นำเสนอวิธีการของการสื่อสารระยะสั้นเพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่อยู่รอบๆร่างกายมนุษย์โดยคำนึงถึงความ ปลอดภัยของร่างกายด้วย โดยสามารถนำมาใช้กับการสื่อสารทางการแพทย์ การดูแลสุขภาพ และอุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์ภายในร่างกายมนุษย์



รูปที่ 2.1 เปรียบเทียบช่วงการสื่อสารของเทคโนโลยีไร้สาย [21]

ระบบการสื่อสารไร้สายแบบบนร่างกายมนุษย์และระบบการสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล มีเทคโนโลยีและแนวคิดที่ใกล้เคียงกัน แต่อย่างไรก็ตามยังคงมีส่วนที่แตกต่างกันเช่น อุปกรณ์ของสื่อสารไร้สายบนร่างกายมนุษย์สามารถอยู่บนร่างกายหรือภายในร่างกายมนุษย์ได้โดยมีความปลอดภัยกับอวัยวะและชิ้นส่วนของร่างกายมนุษย์ ในส่วนของช่องสัญญาณของสื่อสารไร้สายบนร่างกายมนุษย์ ได้ถูกนำเสนอด้วยคุณลักษณะที่แตกต่างกับ การสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล เนื้อเยื่อของร่างกายมนุษย์ที่เป็นตัวกลางซึ่งประกอบไปด้วยไขมัน น้ำ ทำให้การแพร่กระจายถูกลดทอนเร็วกว่าในแบบวอคาคว่าง และรูปแบบของสายอากาศอาจจะมีผลกระทบกับร่างกายมนุษย์

ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีล่าสุดมีการใช้วงจรไฟฟ้าที่มีขนาดเล็ก ใช้พลังงานต่ำ และใช้งานในระบบไร้สายอย่างไรก็ตามวิศวกร หรือนักออกแบบต้องเผชิญกับงานที่ท้าทายความสามารถในการสร้างหรือออกแบบ อุปกรณ์ เช่น ต้องอยู่ในกฎระเบียบข้อบังคับ รูปแบบช่องสัญญาณ การใช้พลังงานที่ต่ำ ผลกระทบของอุณหภูมิ สายอากาศและการสูญเสียบนร่างกายมนุษย์ การสื่อสารที่มีประสิทธิภาพ อัตราการส่งข้อมูลที่เหมาะสม และมีความน่าเชื่อถือสูง เป็นต้น

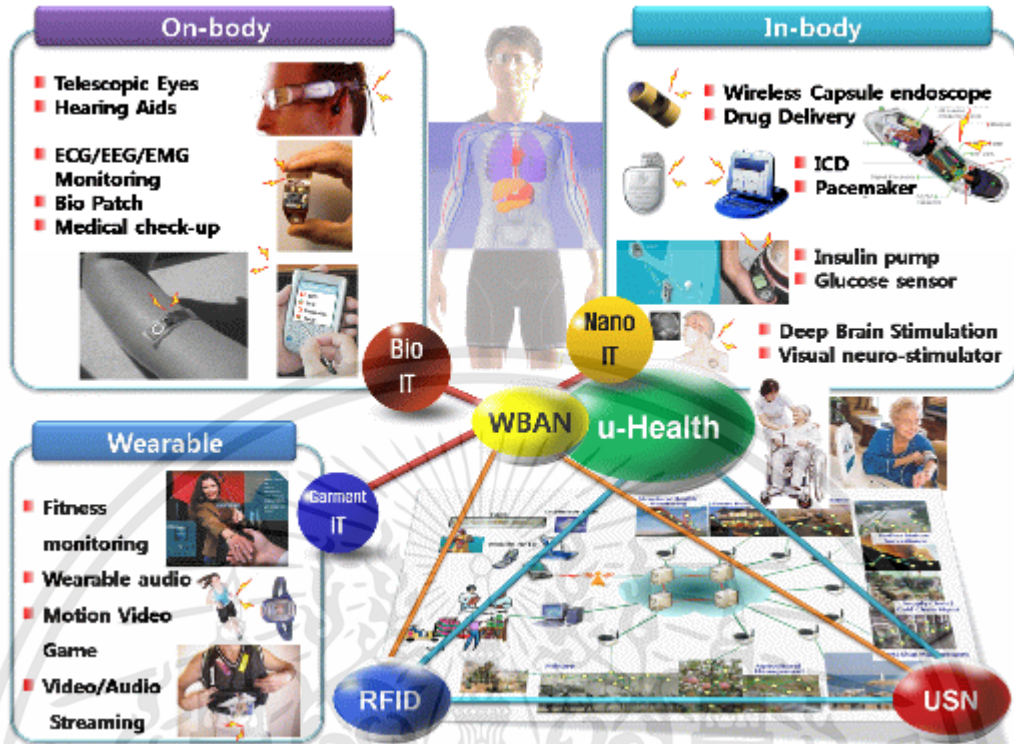
2.1.1 โครงข่ายบนร่างกายมนุษย์แบบไร้สายและการตรวจสอบดูแลรักษาสุขภาพทางการแพทย์

ในการประยุกต์ใช้งานของโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์แบบไร้สายจะใช้สำหรับการรักษาดูแลสุขภาพ การตรวจวัดสมรรถนะของร่างกาย การติดตามเฝ้าดูอาการผู้ป่วย โดยจะมีการติดตั้งเซนเซอร์ตำแหน่งต่างๆ ของร่างกายมนุษย์ โดยที่อุปกรณ์ดังกล่าวสามารถส่งสัญญาณข้อมูลกลับมายังผู้ใช้งาน หรือแพทย์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์อาการ หรือเฝ้าระวังอาการของผู้ป่วย เพื่อป้องกันและทำให้ตรวจพบโรคก่อนได้

ในช่วงสองสามปีที่ผ่านมาได้มีการเพิ่มจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดสุขภาพ ตรวจสอบรูปคลื่น ตรวจสอบสิ่งผิดปกติต่างๆที่เกิดขึ้น การตรวจวิเคราะห์หัวใจคลื่นไฟฟ้าแบบพกพาที่มีการใช้เซนเซอร์ที่มีราคาแพงและซับซ้อน ถึงแม้จะได้รับการยอมรับในวงกว้างในระบบปัจจุบันก็ตาม แต่ยังคงถูกจำกัดด้วยราคาและการใช้งาน

ระบบการตรวจสอบทางการแพทย์ส่วนบุคคลมีการใช้เพื่อเก็บข้อมูลเพียงอย่างเดียว ส่วนการประมวลผลและการวิเคราะห์นั้นถูกดำเนินการแบบออฟไลน์ ทำให้อุปกรณ์ใช้งานได้ไม่ต่อเนื่องและอาจทำให้มีความผิดปกติในการตรวจสอบทางการแพทย์ ระบบที่ประกอบไปด้วยเซนเซอร์จำนวนมากเพื่อใช้ในการฟื้นฟูสภาพร่างกายมีการเชื่อมต่อสายไฟระหว่างตัวเซนเซอร์กับระบบตรวจสอบ สายไฟดังกล่าวอาจทำให้ผู้ป่วยไม่สามารถทำกิจกรรมบางอย่างได้อย่างสะดวกสบาย ส่งผลทำให้มีผลกระทบกับข้อมูลที่วัดได้ และเหตุผลนี้เองทำให้มีการสร้างระบบตรวจสอบสุขภาพร่างกายแบบไร้สายซึ่งใช้ในระบบ WBAN

ความก้าวหน้าทางการแพทย์และการประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับการดูแลสุขภาพได้ถูกนำเสนอในรูปแบบที่ 2.2 จากรูปขั้นตอนที่ 1 ข้อมูลสุขภาพร่างกายถูกรวบรวมด้วยการใช้เซนเซอร์หลายตัวที่ถูกติดตั้งตามส่วนต่างๆที่สำคัญของร่างกาย โดยที่ข้อมูลดังกล่าวจะถูกส่งไปยังหน่วยคำสั่ง ขั้นตอนที่ 2 เมื่อหน่วยคำสั่งได้รับข้อมูลจากส่วนแรกมาแล้ว จะทำการตัดสินใจในการหาวิธีการรักษาหรือการใช้ยาที่เหมาะสม โดยจะส่งคำสั่งไปยังหน่วยดำเนินการ ขั้นตอนที่ 3 หน่วยดำเนินการจะทำการรักษาหรือให้ยาผู้ป่วย เมื่อทำการรักษาหรือให้ยาเสร็จสิ้น เซนเซอร์จะรวบรวมข้อมูลการดูแลสุขภาพที่สำคัญ เพื่อนำไปเข้ากระบวนการอื่นต่อไป

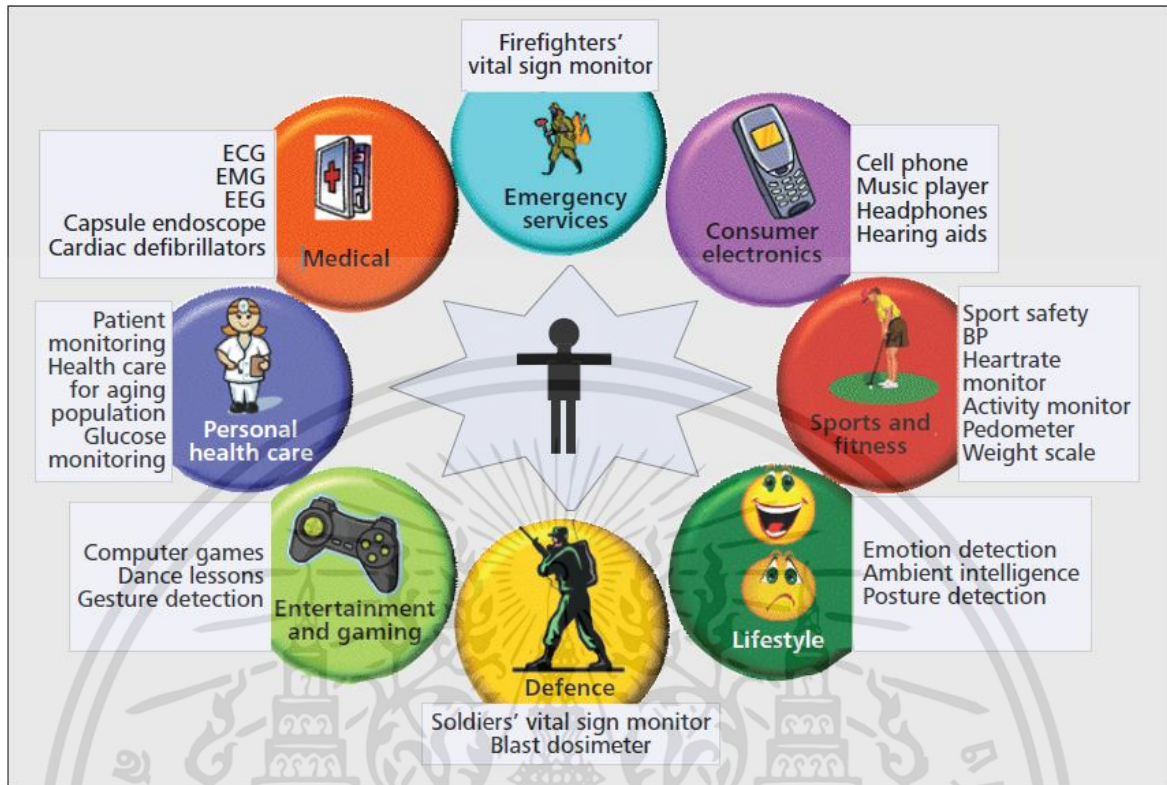


รูปที่ 2.2 ระบบตรวจสอบทางการแพทย์ [21]

แรงบันดาลใจในทางการแพทย์เป็นการช่วยชีวิต และพัฒนาทางด้านการแพทย์ให้มีการตรวจวินิจฉัยโรค และรักษาได้รวดเร็วขึ้น WBAN สามารถใช้เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการให้ความช่วยเหลือทางการแพทย์ จุดประสงค์หลักของการบริการดูแลสุขภาพผู้ป่วยที่บ้าน คือการพัฒนาคุณภาพชีวิตและเพิ่มความเป็นอิสระของผู้ป่วยโดยการรักษาที่บ้าน และการดูแลผู้ป่วยที่บ้านรวมถึงสภาพแวดล้อม จะถูกแทนที่การรักษาที่แพงของโรงพยาบาล

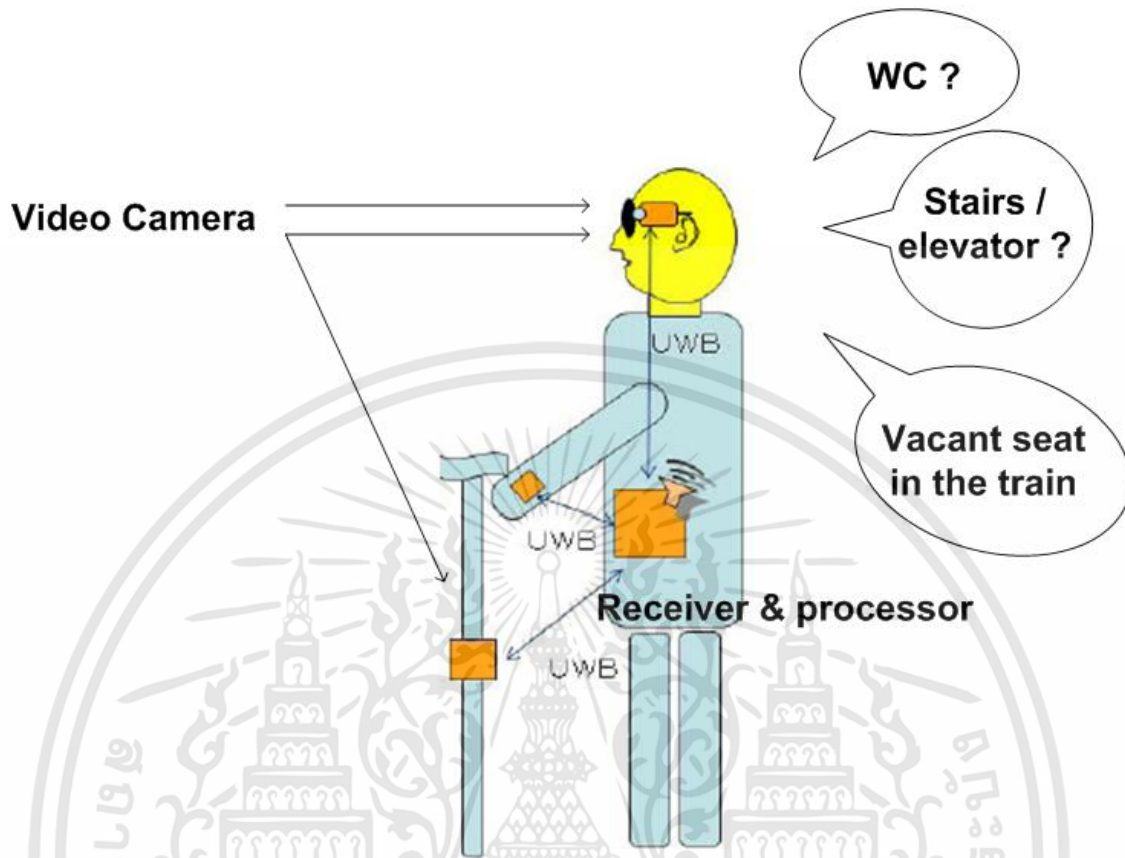
2.1.2 การประยุกต์ใช้งาน

มีการประยุกต์ใช้มากมายและมีการใช้รูปแบบที่ช่วยให้มีความสะดวกสบายมากขึ้นโดยการใช้ WBAN รูปที่ 2.3 แสดงถึงการประยุกต์ใช้งานในการช่วยเหลือผู้ที่มีความพิการทางสายตา เครื่องมือตรวจวัดได้ถูกติดกับสิ่งของต่างๆของผู้ที่มีความพิการทางสายตา จากนั้นต้องมีการกำหนดค่าเริ่มต้นของระยะห่างของเครื่องมือตรวจวัดกับเครื่องรับสัญญาณ หากผู้พิการทางสายตาสัมผัสสิ่งของไว้หรืออยู่ห่างจากค่าที่ได้กำหนดไว้ เครื่องรับสัญญาณจะส่งสัญญาณเตือน



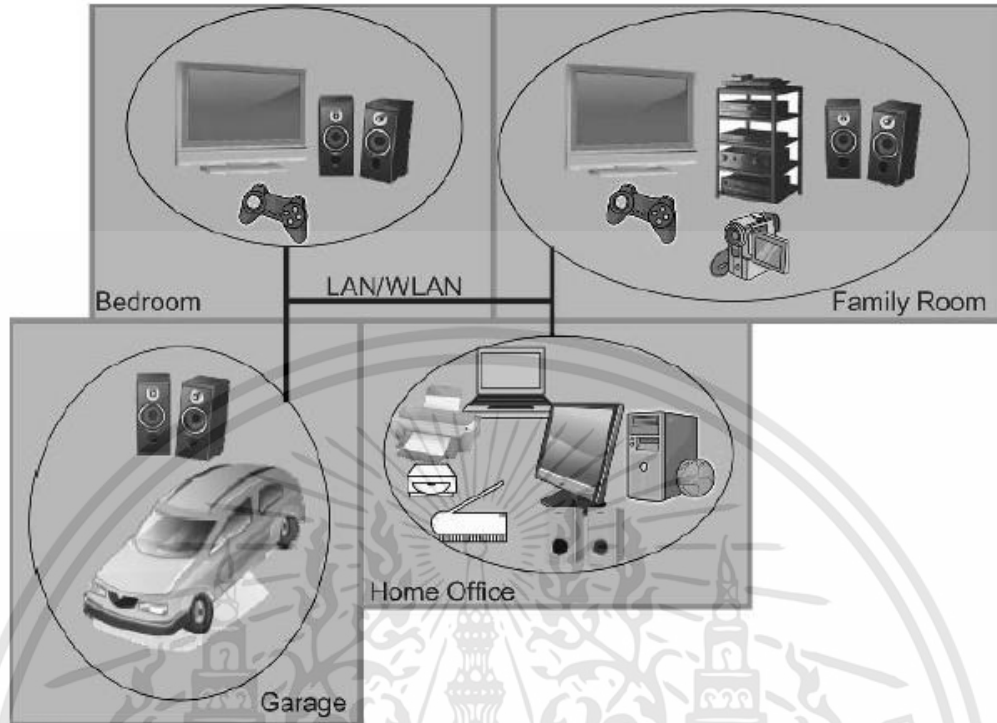
รูปที่ 2.3 การประยุกต์ใช้งานในหลาย ๆ ด้าน [21]

นอกจากนี้ยังมีกล้องที่ติดกับผู้พิการทางสายตา เช่น แว่นตา หรือไม้เท้า ภาพวิดีโอจะถูกถ่ายโดยกล้อง และถูกส่งไปยังเครื่องรับที่ติดอยู่ที่ผู้พิการทางสายตา โดยภาพที่ถ่ายได้จะถูกแปลงให้เป็นเสียง เพื่อนำทางให้กับผู้พิการทางสายตา ดังรูปที่ 2.4 หลักการที่คล้ายคลึงกันสามารถนำมาใช้ช่วยเหลือผู้พิการด้านการพูด โดยใช้เซนเซอร์ที่ติดที่มือ เพื่อหาการเคลื่อนไหวของมือ โดยข้อมูลที่ได้รับจากเซนเซอร์จะถูกเปลี่ยนให้เป็นเสียงพูด



รูปที่ 2.4 การประยุกต์ใช้งานในการช่วยเหลือผู้ที่มีความพิการทางสายตาในการค้นหา [21]

ตัวอย่างที่ใช้ร่างกายเป็นศูนย์กลาง ส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้งาน เช่น หูฟังไร้สาย เสียงหรือวิดีโอสตรีมมิ่ง ตัวควบคุมเกมส์ด้วยเซนเซอร์ ข้อมูลบันเทิงต่างๆ การประยุกต์ใช้ WBAN ไม่เพียงแต่เพิ่มความสะดวกสบายที่ไม่มี การใช้สายเข้ามาเกี่ยวข้อแต่ยังให้วิธีการแบ่งปันข้อมูล ยกตัวอย่างเช่น ผู้ใช้งานสองคนหรือมากกว่าสามารถใช้ เครื่องเล่นดนตรี หรือวิดีโอ ได้พร้อมกันดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การใช้งานทางด้านสื่อผสมระยะสั้น [21]

2.2 ประวัติของการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง [7]

เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง มีประวัติย้อนหลังมายาวนานตั้งแต่สมัยที่ มาร์โคนี (Marconi) ได้ทดลองสาธิตโดยใช้เครื่องรับ-ส่งเป็นแบบสปาร์คแก๊ป (Spark gap) ในการส่งสัญญาณวิทยุแบบอิมพัลส์ข้ามมหาสมุทรแอตแลนติกในปี 1901 ต่อมาในปี ค.ศ. 1962 ได้ประดิษฐ์เครื่องส่งวิทยุแถบกว้างยิ่งโดยใช้หลักการส่งผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในโดเมนทางเวลา และได้ถูกนำไปใช้ในการส่งสัญญาณในเครือข่ายไมโครเวฟในปี ค.ศ. 1963-1966 ซึ่งมีการแนวทางในการพัฒนาว่าต้องมีรูปแบบที่ง่ายและไม่ซับซ้อน โดยใช้คุณลักษณะของการตอบสนอง ความถี่ เช่น ขนาดของสัญญาณ และเฟส ซึ่งระบบจะทำงานวิเคราะห์ความแตกต่างของผลตอบสนองของสัญญาณจากฟังก์ชันในการส่งผ่านสัญญาณ $h(t)$ ในส่วนของสัญญาณเอาต์พุตจะถูกแทนด้วย $y(t)$ และกำหนดให้สัญญาณ อินพุตที่ป้อนเข้าเป็น $x(t)$ ซึ่งทำให้สามารถวิเคราะห์คุณลักษณะของช่องสัญญาณได้ โดยได้ใช้เครื่อง ออสซิลอสโคปในการสุ่มค่าของสัญญาณ เพื่อมาทำการวิเคราะห์และพัฒนาเครือข่ายในระบบไมโครเวฟ และรูปแบบของสัญญาณที่ใช้ในการส่งผ่าน

เทคนิคในการวัดค่าสัญญาณนั้นแรกเริ่มได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับแถบความถี่กว้างในปี ค.ศ. 1968 ซึ่งทำให้เกิดการพัฒนาสัญญาณที่มีขนาดแคบได้อย่างรวดเร็ว และได้ถูกนำไปใช้ในการส่งสัญญาณติดต่อสื่อสารแบบ เรดาร์ ในปี ค.ศ. 1972 และในปีถัดมาเครื่องออสซิลอสโคป ที่ใช้การวิเคราะห์ ความถี่ที่สูงขึ้นก็ได้ถูกสร้างขึ้น จึงทำให้มีการกำหนดแถบความถี่กว้างยิ่งในปี ค.ศ. 1973 ต่อมาในปี ค.ศ. 1980 นั้นก็ได้มีการกำหนดให้เทคโนโลยี แถบความถี่กว้างยิ่งนี้ไม่จำเป็นต้องใช้คลื่นพาหะ ในการส่งสัญญาณเหมือนอย่างแถบความถี่กว้างอีก

ต่อไป และเป็นจุดที่แตกต่างจากการส่งคลื่นวิทยุแบบอื่นที่มีมาก่อนหน้านั้น และต่อมาได้มีการพัฒนาในประเทศสหรัฐอเมริกาต่อในปี ค.ศ.1989

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

โดยตั้งแต่ปี ค.ศ. 1994 เทคโนโลยี แถบความถี่กว้างยิ่งได้ถูกพัฒนาเพื่อใช้ในระบบการติดต่อสื่อสารอย่างรวดเร็วโดยรัฐบาลสหรัฐอเมริกา จนปี ค.ศ. 1998 ได้มีการเริ่มพิจารณามาตรฐานและข้อกำหนด

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

2.3 ระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง

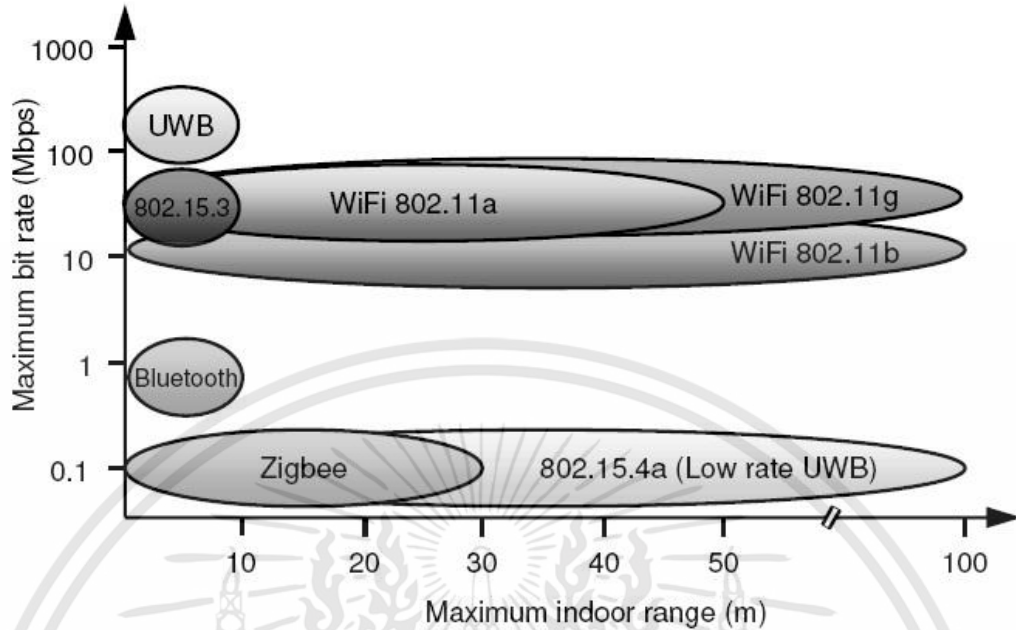
ระบบแถบกว้างยิ่งเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่แตกต่างจากการสื่อสารทางคลื่นความถี่วิทยุแบบอื่น ๆ โดยจุดเด่นของระบบแบบแถบกว้างยิ่งคือ เป็นระบบสื่อสารที่ไม่ต้องใช้คลื่นพาหะเหมือนในระบบอื่น สัญญาณของระบบแบบกว้างยิ่งจะเป็นสัญญาณพัลส์ (Pulse signal) โดยจะเป็นพัลส์แคบๆ ขนาดประมาณ 0.2 นาโนวินาที จึงทำให้มีความหนาแน่นแถบความถี่ (Spectral density) ที่กว้างมาก ดังนั้นจึงแผ่กระจายครอบคลุมช่วงความถี่ได้กว้างในระดับ GHz และระบบนี้มีแบนด์วิดท์ที่กว้างมากจึงทำให้สามารถที่จะรองรับอัตราการส่งข้อมูลได้สูงถึง 110 Mb/s ในระยะทางประมาณ 10 เมตร และเนื่องจากสัญญาณพัลส์ที่ใช้มีขนาดที่แคบมากจึงทำให้ช่วงใช้งาน (Duty cycle) มีค่าต่ำจึงทำให้ระบบมีการใช้กำลังที่ต่ำลงไปด้วยในรูปที่ 2.6 แสดงให้เห็นถึงระดับความหนาแน่นแถบกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่งโดยเปรียบเทียบกับระบบอื่น ๆ

2.3.1 ข้อได้เปรียบของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง

ระบบแถบกว้างยิ่งเป็นระบบที่มีข้อได้เปรียบที่น่าสนใจสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบสื่อสารหลากหลายประเภทเช่น

- กำลังงานในการส่งต่ำ

จากข้อกำหนดโดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาได้กำหนดให้กำลังงานในการส่งนั้นมีค่าสูงสุดไม่เกิน -41.3 dBm ทำให้มีการแพร่กระจายกำลังงานในระดับต่ำประมาณระดับของสัญญาณรบกวน (noise floor) จึงทำให้ระบบอื่นมองว่าสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนี้คือสัญญาณรบกวน เลยถูกกำจัดออกจากการพิจารณาของระบบ ทำให้ไม่มีผลกระทบกับระบบอื่นๆ



รูปที่ 2.6 การเปรียบเทียบระดับความหนาแน่นของแถบกำลังงานระหว่างแถบแคบอื่นๆและแถบกว้างยิ่ง [2]

- มีอัตราการส่งข้อมูลสูง

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

- เป็นระบบที่มีต้นทุนต่ำ

ระบบแถบความถี่กว้างยิ่งเป็นระบบที่มีต้นทุนที่ต่ำเนื่องจากการส่งสัญญาณนั้นไม่เหมือนกับระบบการส่งสัญญาณวิทยุแบบอื่นๆ โดยเครื่องส่งจะทำการสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความถี่สูงทำให้ความกว้างของสัญญาณแคบมากๆ ทำให้สามารถแพร่กระจายคลื่นโดยไม่จำเป็นต้องมีคลื่นพาห์และไม่ต้องมีวงจรในส่วนของการรวมสัญญาณวิทยุ และการเพิ่มกำลังให้สูงขึ้นและในส่วนของภาครับไม่มีวงจรรวมผลิตความถี่ (Mixer) ทำให้ลดความซับซ้อนของระบบและต้นทุนในการผลิตลงไปมาก

- มีความละเอียดสูงในโดเมนเวลาสำหรับกำหนดตำแหน่ง

ด้วยพัลส์ที่มีลักษณะทางโดเมนเวลาที่แคบมาก ๆ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าเป็นพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณน้อยมาก ๆ นั้นหมายถึง ระบบคลื่นวิทยุแบบแถบกว้างยิ่งมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถควบคุมจังหวะและคำนวณเวลาได้อย่างถูกต้องแม่นยำมากกว่าระบบดาวเทียมบอกพิกัด (Global positioning system: GPS) และระบบคลื่นวิทยุแบบอื่น ๆ อีกทั้งด้วยคุณสมบัติในการทะลุผ่านวัสดุได้ดีจึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งที่มีการมอดูเลตทางเวลาถูกนำมาใช้งานในระบบเรดาร์ระยะสั้น เช่นในการช่วยเหลือชีวิตและปฏิบัติการป้องกันอาชญากรรม เช่นเดียวกับการใช้ในงานสำรวจและในอุตสาหกรรมการทำเหมืองเป็นต้น

2.4 ข้อกำหนดของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

โครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ไร้สาย (WBAN) ได้ถูกกำหนดการใช้งานคลื่นวิทยุ และคลื่นความถี่ ตามกฎข้อบังคับของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ ที่ดูแลเกี่ยวกับการบริหารคลื่นความถี่ (ITU-R) และในแต่ละประเทศจะมีองค์กรที่จัดการเรื่องกฎข้อบังคับต่างๆ เช่น คณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา Federal Communications Commission: FCC คณะกรรมการยุโรป (European Commission: EC) กระทรวงอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสารสนเทศ (Ministry of Industry and Information Technology : MIIT) ของประเทศจีน กระทรวงการปกครองและการสื่อสารภายในประเทศ (Ministry of Internal Affairs and Communications: MIC) ของประเทศญี่ปุ่น

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

เนื่องจาก WBAN ถูกใช้งานในช่วงที่จำกัดคือรอบๆร่างกายมนุษย์ และเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายได้กำหนดให้มีการสื่อสารระยะสั้น โดยมีการใช้ระดับรังสีที่ต่ำและมีการใช้พลังงานที่ต่ำ และเทคโนโลยีที่สามารถใช้งานร่วมกับ WBAN ได้มีดังนี้ เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายแบบแถบกว้างยิ่ง (UWB) โครงข่ายไร้สายส่วนบุคคล (WPAN) ที่ใช้แถบความถี่ ISM (industrial, scientific and medical) โดยความถี่ที่สามารถใช้งานร่วมกับ WBAN โดยได้กำหนดในแถบความถี่ MICS (medical implant communication service) และ Wireless Medical Telemetry Service (WTMS)

ข้อกำหนดที่สำคัญได้ถูกกำหนดขึ้นมาใช้ในการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งคือ การจัดสรรความถี่ในการใช้งานเพื่อไม่ให้เกิดการรบกวนกันกับระบบเดิมที่ใช้อยู่ ซึ่งในแต่ละประเทศได้มีการกำหนดกฎข้อบังคับในการใช้งานของระบบแถบกว้างยิ่งตามความเหมาะสมของกิจการโทรคมนาคมของประเทศนั้นๆ เช่น ญี่ปุ่น เกาหลี จีน และอีกหลายๆประเทศที่กำลังพัฒนาระบบการสื่อสาร ซึ่งในสหรัฐอเมริกามีกลุ่มทำงานที่ชื่อว่า “Ultra-Wideband Working Group (UWBWG)” ได้พยายามทำการถอดถอนการจำกัดของข้อกำหนดในการใช้งานช่วงความถี่ของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งจากกฎข้อบังคับเดิมของคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา เพื่อทำการเจรจาหาข้อตกลงร่วมกันเช่นเดียวกับในยุโรปก็ได้มีการหาข้อตกลงการจัดสรรคลื่นความถี่และการแทรกสอดของคลื่นวิทยุซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีข้อกำหนดแถบความถี่สำหรับการใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่งในสถาบันกำหนด สหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International telecommunication union; ITU)

2.4.1 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา

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

เมื่อเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งได้ถูกเสนอสำหรับการนำมาใช้ในกิจการการสื่อสารของพลเรือน ซึ่งยังไม่ได้มีการกำหนดใดๆ สำหรับลักษณะสัญญาณที่จะนำมาใช้ จึงได้มีหน่วยงานหนึ่งที่ชื่อว่า DARPA (Defense Advanced Research Project Agency) ได้ทำการออกข้อกำหนดฉบับที่หนึ่งสำหรับสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งซึ่งอยู่บนพื้นฐานอัตราส่วนแบนด์วิดท์ B_f ของสัญญาณโดยต้องมีค่ามากกว่า 25% โดยสามารถกำหนดได้ตามสมการที่ 2.1 [8]

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

โดยที่ f_L คือ ความถี่ต่ำสุดและ f_H คือความถี่สูงสุดของแถบความถี่ที่ใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่ง

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

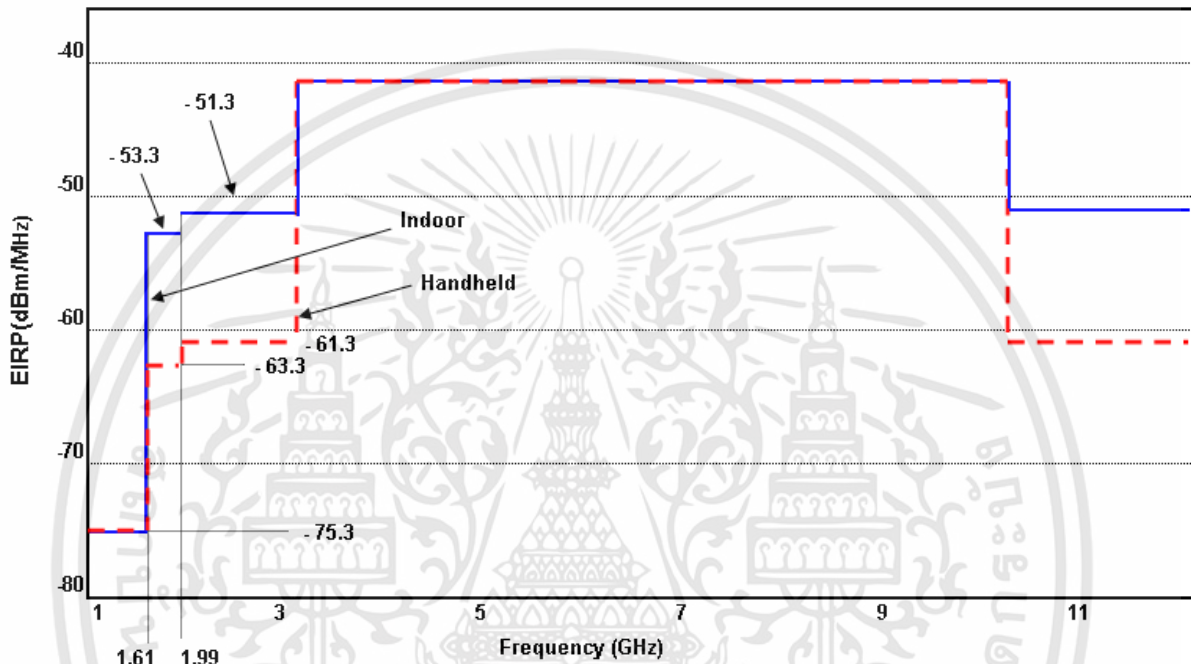
ตารางที่ 2.1 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงานโดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาสำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร [8]

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

กำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิก (Equivalent Isotropically Radiated Power: E.I.R.P.) สำหรับเครื่องส่งของการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งจะถูกกำหนดค่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงาน โดยการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งจะมีการใช้งานภายในอาคารหรือบนมือถือ รูปที่ 2.7 เปรียบเทียบของค่าเฉลี่ยความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของการใช้งานภายในอาคารและบนมือถือ จะเห็นได้ว่าค่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานมีค่าเท่ากันในช่วงความถี่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz อย่างไรก็ตามค่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงาน

บนมือถือที่มีค่าน้อยกว่าระดับภายในอาคารอยู่ 10 dB จะอยู่ในช่วงความถี่ 1.61 GHz ถึง 3.1 GHz และช่วงความถี่มากกว่า 10.6 GHz

กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกาได้ถูกรวบรวมอยู่ใน ส่วนย่อยของ Part 15 ของกฎหมายรัฐบาลกลาง (Code of Federal Regulations) และอุปกรณ์ของระบบแถบกว้างยิ่งอาจจะไม่สามารถใช้ในของเล่น และเป็นสิ่งที่ต้องห้ามในการใช้งานบนเครื่องบิน เรือ และระบบดาวเทียม



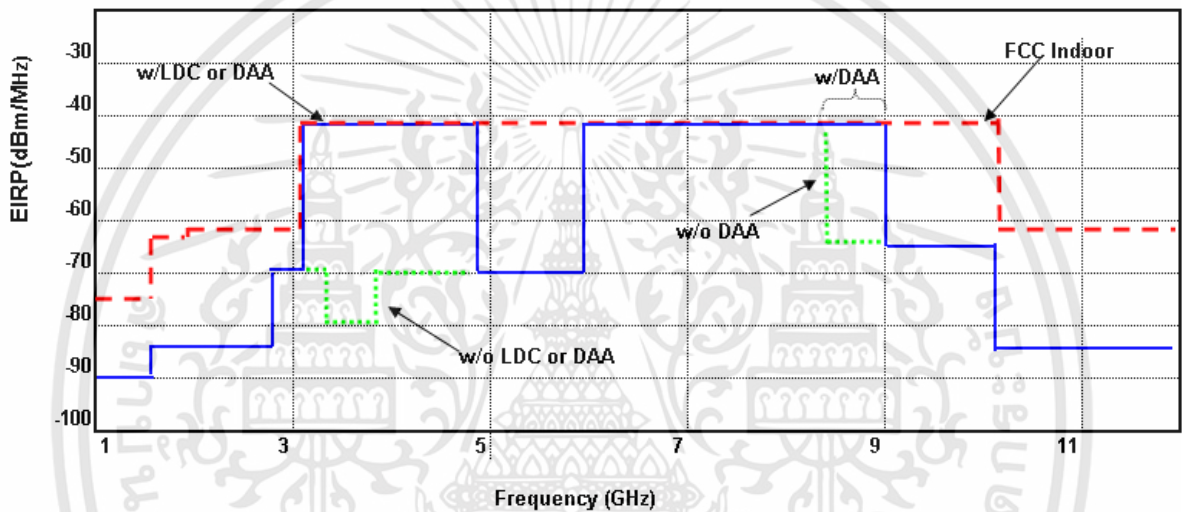
รูปที่ 2.7 สเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งโดย FCC [21]

2.4.2 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในยุโรป

ในยุโรปมีการกำหนดกฎข้อบังคับของการสื่อสารบนร่างกายอยู่ 3 มาตรฐาน คือของสหภาพยุโรป European Union: EU) มาตรฐานการส่งสัญญาณที่ใช้ในยุโรป (Conference of European Posts and Telecommunications Administration: CEPT) และ องค์การสร้างมาตรฐานของอุตสาหกรรมสื่อสารของกลุ่มประเทศยุโรป (European Telecommunication Standard Institute: ETSI) โดยจะอธิบายเฉพาะในส่วน of ค่าเฉลี่ยกำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิก เนื่องจากระบบแถบกว้างยิ่งในยุโรปมีการใช้การปล่อยพลังงานสูงสุดเหมือนของระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา

ระบบแถบกว้างยิ่งในยุโรปให้ค่านิยามของแบนด์วิดท์ที่แตกต่างกับระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา โดยที่ค่าระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกามีค่าแบนด์วิดท์ต่ำสุดอยู่ที่ 50 MHz เช่นเดียวกับระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกาแบนด์วิดท์ที่ใช้ทดสอบ ณ ตำแหน่งที่ต่ำกว่าระดับสูงสุดของการแพร่กระจายลงมา 10 dB ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานสำหรับการใช้งานภายในอาคารได้ถูกกำหนดไว้ดังรูป 2.8 และที่ระบบแถบกว้างยิ่งที่ความถี่ต่ำ ค่าสูงสุดของกำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิก มีค่า -41.3 dBm/MHz โดย

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



รูปที่ 2.8 ข้อกำหนดสเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งโดย EU [21]

กลไกในการตรวจสอบและหลีกเลี่ยงเป็นที่รู้จักและถูกใช้ในระบบแถบกว้างยิ่งที่มีระดับการแพร่กระจายที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับการณ์การในแต่ละภาคส่วน ตารางที่ 2.2 แสดงให้เห็นถึงค่าของกำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิกในแต่ละระบบ

ช่วงใช้งานกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ของคาบสัญญาณของอุปกรณ์ระบบแถบกว้างยิ่งในช่วงเวลาที่กำหนด พารามิเตอร์ LDC โดยได้ถูกนิยามครั้งแรกในสหภาพยุโรป ดังนี้

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

การควบคุมกำลังส่ง (Transmit power control: TPC) เป็นวิธีการลดการรบกวนของสหภาพยุโรป สำหรับอุปกรณ์ระบบแถบกว้างยิ่งที่ติดตั้งบนถนนหรือรถไฟสามารถใช้งานกับค่ากำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิกสูงสุดที่ -41.3 dBm/MHz ในช่วงความถี่ 3.1 GHz ถึง 4.8 GHz, 6 GHz ถึง 8.5 GHz และ 8.5

GHz ถึง 9GHz และตารางที่ 2.3 ได้สรุปวิธีที่ใช้ในการลดการรบกวนที่นำไปใช้กับค่ากำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิกสูงสุด ที่-41.3 dBm/MHz

ตารางที่ 2.2 ค่าของกำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิกในแต่ละระบบ [21]

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

ตารางที่ 2.3 วิธีที่ใช้ในการลดการรบกวนที่นำไปใช้กับค่ากำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิกสูงสุดที่ -41.3 dBm/MHz [21]

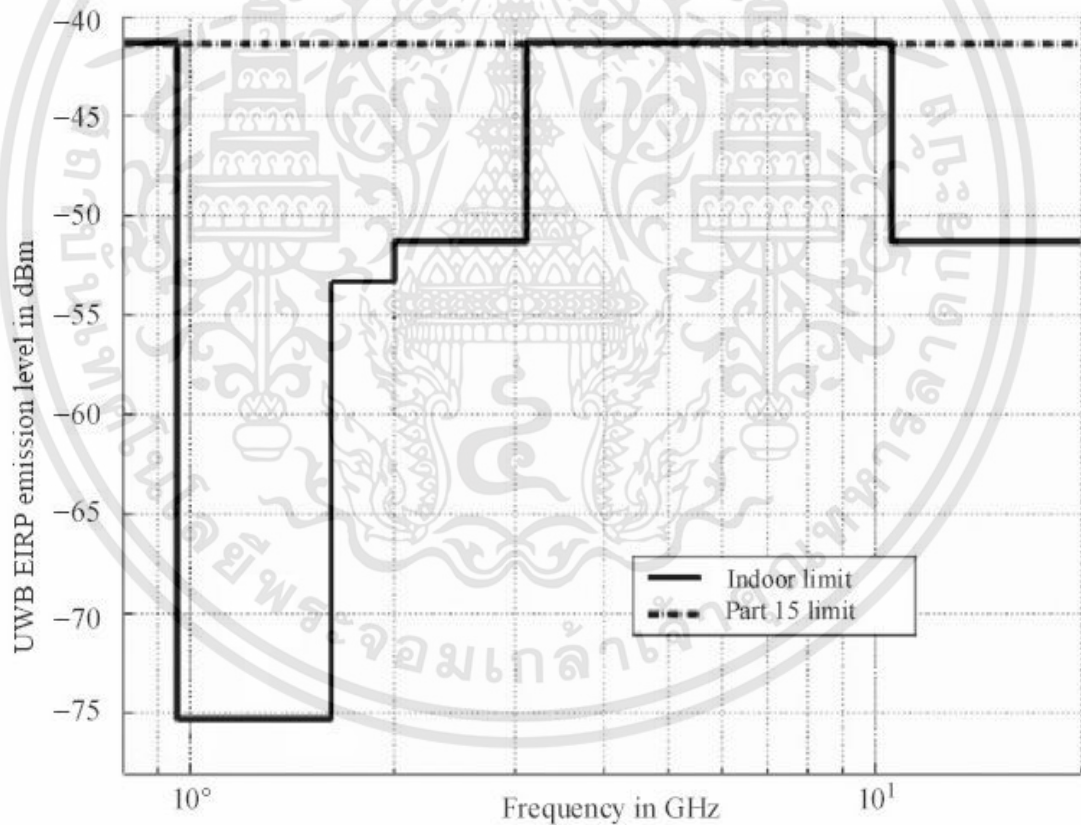
	ความถี่ (GHz)		
	3.1 – 4.8	6-8.5	8.5-9
การใช้งานภายในอาคาร	LDC or DAA	ไม่จำเป็น	DAA
การใช้งานบนถนนหรือรถไฟ	LDC หรือ DAA+TPC	LDC หรือ TPC	DAA+LDC หรือ DAA + TPC

ปัจจุบันโครงร่างของข้อกำหนดระบบแถบกว้างยิ่งในทวีปยุโรปอยู่ในช่วงรอข้อมูลทางเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบของระบบแถบกว้างยิ่งบนระบบเดิมที่มีใช้กันอยู่โดยทางยุโรปนั้นบางส่วนของข้อกำหนดจะรัดกุมกว่าของทางสหรัฐอเมริกา เพราะทางด้านยุโรปนั้นในส่วนของเทคโนโลยีใหม่ต้องแสดงให้เห็นว่าส่งผลกระทบน้อยหรือไม่ส่งผลเสียต่อระบบเดิมที่มีอยู่ โดยข้อกำหนดการแพร่กระจายกำลังงานสำหรับการใช้งานทั้งภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย ITU หรือ ETSI แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร [8]

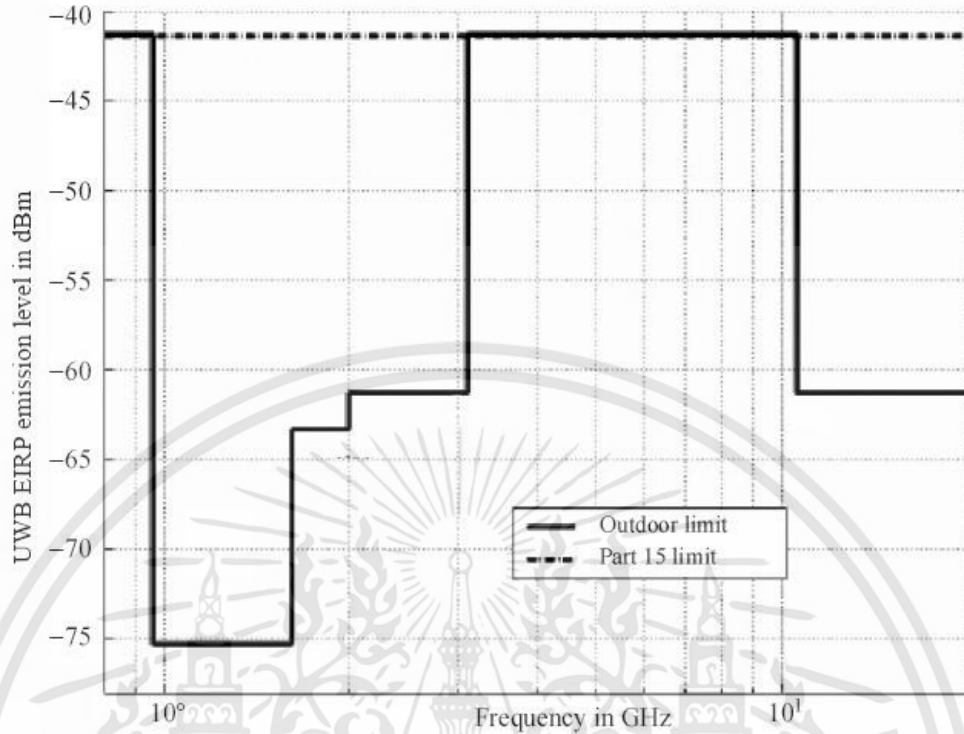
	ช่วงความถี่ [GHz]		
	$f < 3.1$	$3.1 < f < 10.6$	$f > 10.6$
ภายในอาคาร	$-51.3 + 87\log(f / 3.1)$	-41.3	$-51.3 + 87\log(10.6 / f)$
ภายนอกอาคาร	$-61.3 + 87\log(f / 3.1)$	-41.3	$-61.3 + 87\log(10.6 / f)$

โดยในรูปที่ 2.9 และ 2.10 การเปรียบเทียบข้อกำหนดสเปกตรัมตามของอุปกรณ์การสื่อสารแถบกว้างโดย FCC



รูปที่ 2.9 สเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคารโดย FCC [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 สเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งภายนอกอาคารโดย FCC [9]

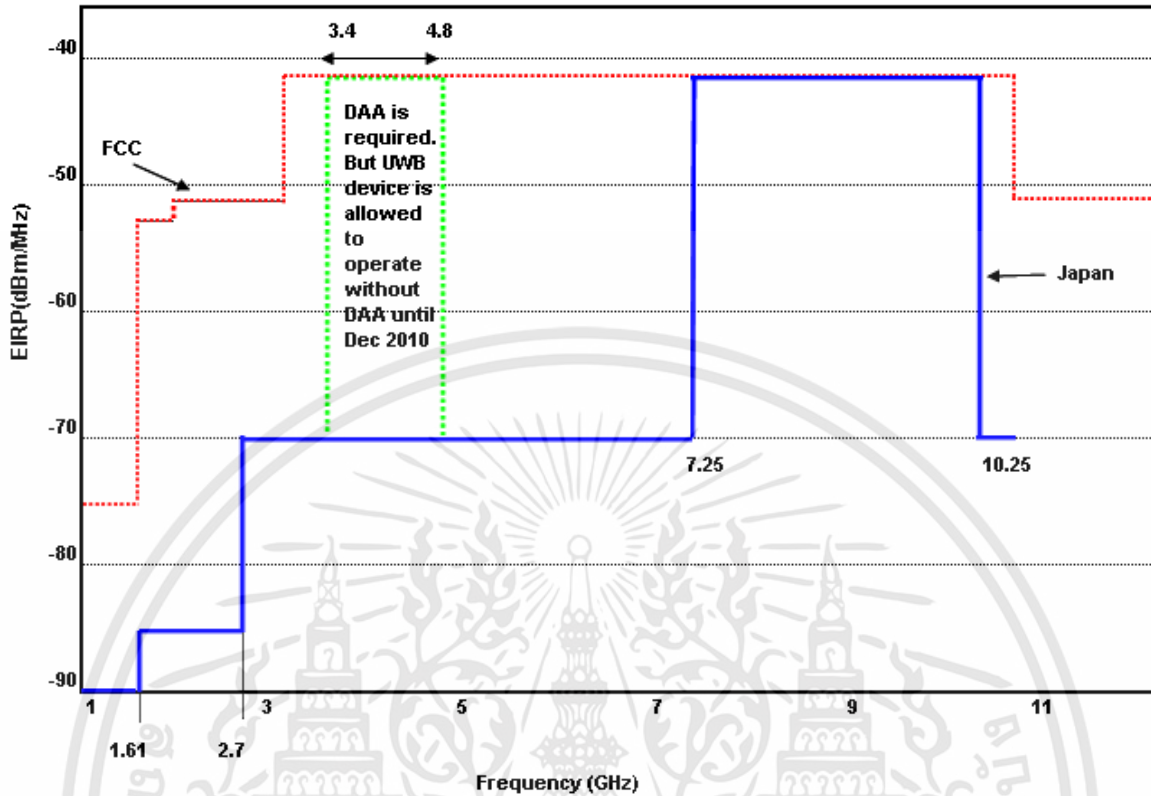
2.4.3 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในประเทศญี่ปุ่น

กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งถูกบังคับใช้ในเดือนสิงหาคม 2006 และในรูปที่ 2.11 ได้ทำการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา กับของประเทศญี่ปุ่น ความถี่ที่สามารถใช้งานได้อยู่ในช่วง 3.4 GHz ถึง 4.8 GHz ในช่วงความถี่ต่ำ และ 7.25 GHz ถึง 10.25 GHz ในช่วงความถี่สูง ในช่วงความถี่ต่ำวิธีการลดการรบกวนได้ถูกนำมาใช้ ช่วงความถี่ที่ 4.2 GHz ถึง 4.8 GHz สามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องใช้วิธีการลดการรบกวนจนถึงเดือนธันวาคม 2010 แต่ประเทศญี่ปุ่นได้พิจารณา ยืดเวลาออกไปจนถึงเดือนธันวาคม 2013 โดยมีบางข้อกำหนดเฉพาะในประเทศญี่ปุ่นดังนี้

- ในการดำเนินการภายในอาคารอุปกรณ์ระบบแถบกว้างยิ่งสามารถเชื่อมต่อกับไฟ AC และอุปกรณ์ระบบแถบกว้างยิ่งที่ไม่ได้ต่อกับไฟ AC จะต้องได้รับอนุญาตให้ปล่อยคลื่นวิทยุหลังจากที่ได้รับสัญญาณจากอุปกรณ์วิทยุอื่น ๆ ที่เชื่อมต่อกับไฟ AC

- อัตราการส่งข้อมูลมากกว่า 50 Mbps ยกเว้นกรณีของสัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์วิทยุอื่น ๆ

- ความถี่แบนด์วิดท์อยู่ระหว่างความถี่บนและความถี่ล่าง โดยจะวัดค่าต่ำกว่า 10 dB จากค่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของสัญญาณหรือมีการใช้แถบความถี่มากกว่าหรือเท่ากับ 450 MHz



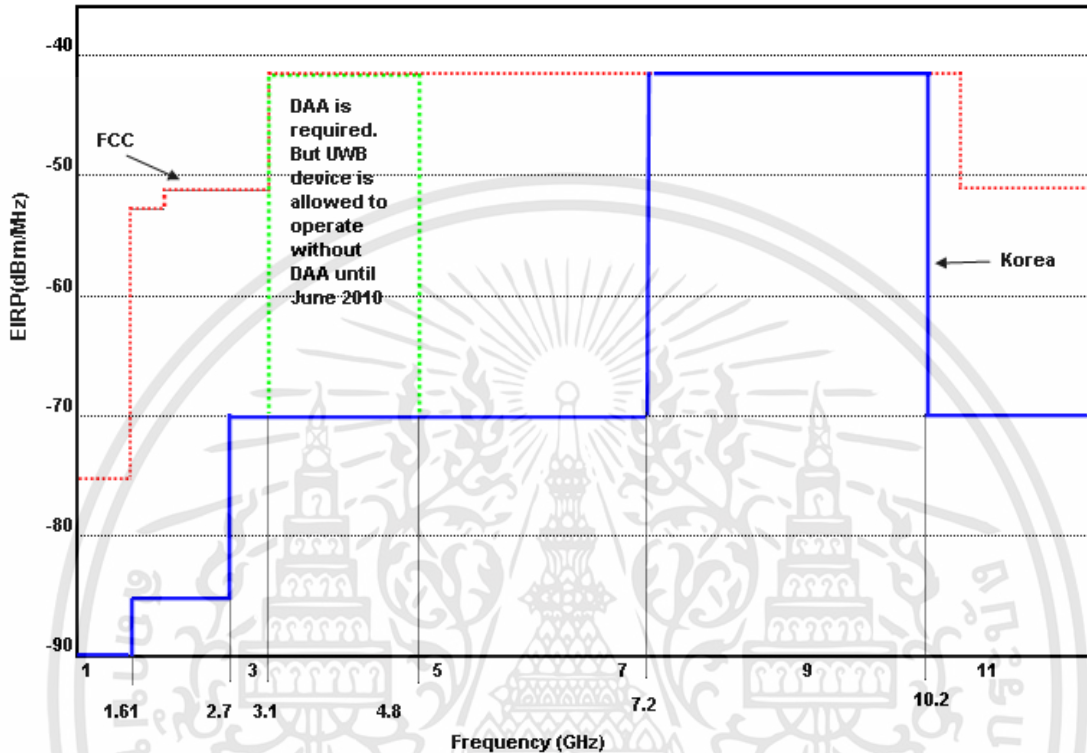
รูปที่ 2.11 สเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งของประเทศญี่ปุ่น [21]

2.4.4 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในประเทศเกาหลี

กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งมีผลบังคับใช้ในช่วงฤดูร้อนปี 2006 โดยมีค่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานคล้ายคลึงกับประเทศญี่ปุ่น แต่มีช่วงความถี่ต่างกันเพียงเล็กน้อย บางพารามิเตอร์เช่น LDC มีค่าใกล้เคียงกับสหภาพยุโรป ดังแสดงในรูป 2.12 ช่วงความถี่ที่สามารถใช้งานในช่วงความถี่ต่ำได้คือ 3.1 GHz ถึง 4.8 GHz และช่วงความถี่สูงคือ 7.2 GHz ถึง 10.2 GHz วิธีการลดสัญญาณรบกวนถูกใช้ใน ช่วงความถี่ต่ำ โดยมีพารามิเตอร์ที่ใช้และมีวิธีการดังนี้

- อุปกรณ์ของระบบแถบกว้างยิ่งถูกห้ามใช้ในส่วนงานบนเครื่องบิน เรือ ดาวเทียม วิทยุควบคุมการบิน
- ความถี่แบนด์วิดท์อยู่ระหว่างความถี่บนและความถี่ล่าง โดยจะวัดค่าต่ำกว่า 10 dB จากค่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของสัญญาณ หรือมีการใช้แถบความถี่มากกว่าหรือเท่ากับ 450 MHz
- หนึ่งในวิธีการลดสัญญาณรบกวนถูกใช้ใน ช่วงความถี่ 3.1 GHz ถึง 4.8 GHz
 1. ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานไม่เกิน -70 dBm/MHz
 2. ช่วงเวลาการส่งอย่างต่อเนื่องไม่เกิน 5 ms และช่วงเวลาในการหยุดควรมากกว่า 1 วินาที
 3. พลังงานที่ปล่อยออกมาจากอุปกรณ์ของระบบแถบกว้างยิ่งจะต้องลดลงไปถึงระดับน้อย -70dBm/MHz ภายใน 2วินาที เมื่อสัญญาณที่รับได้มีขนาดมากกว่า -80dBm/MHz

4. อุปกรณ์ของระบบแถบกว้างยิ่งจะต้องหลีกเลี่ยงสัญญาณที่รับได้มากกว่า -80dBm/MHz ภายใน 2 วินาที



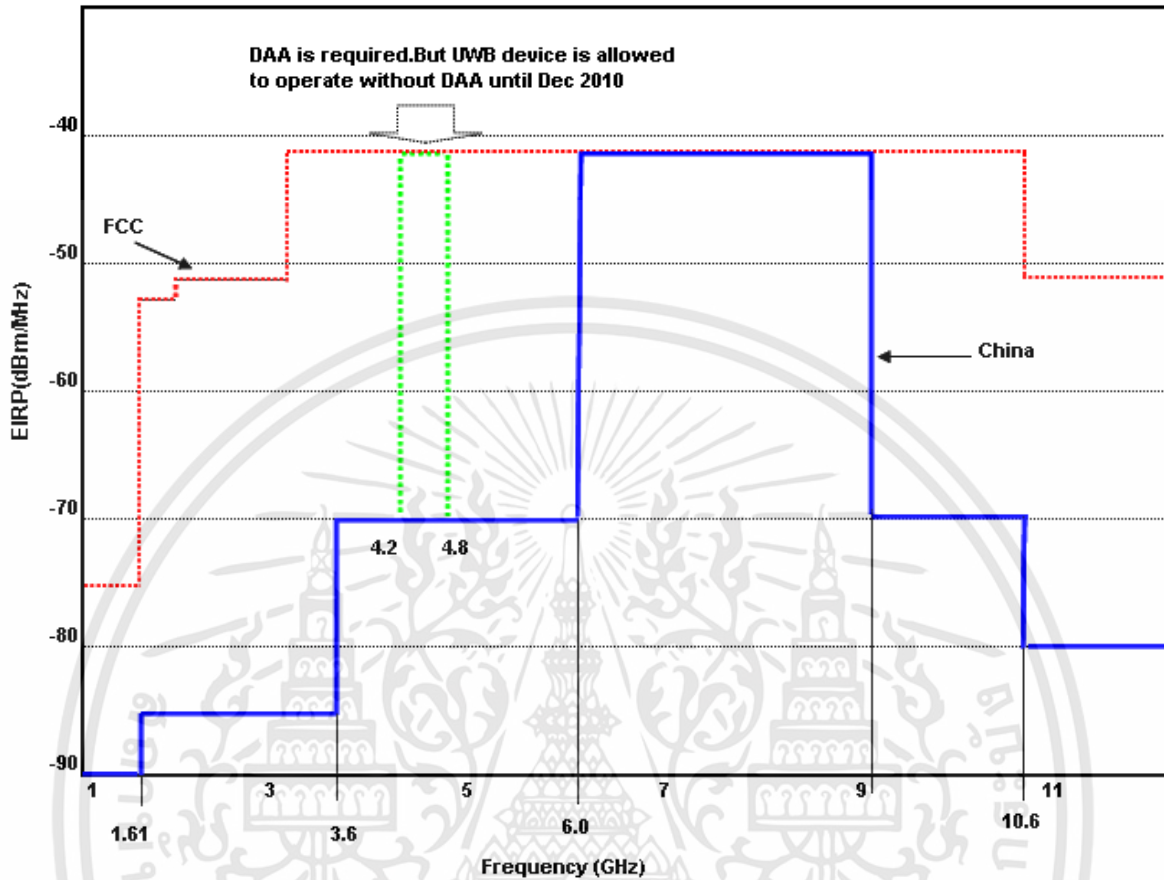
รูปที่ 2.12 สเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งของประเทศเกาหลี [21]

2.4.5 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในประเทศจีน

กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งถูกบังคับใช้เมื่อเดือนธันวาคมปี 2008 โดยกระทรวงอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสารสนเทศ ของประเทศจีน - ความถี่แบนด์วิดท์ที่อยู่ระหว่างความถี่บนและความถี่ล่าง โดยจะวัดค่าต่ำกว่า 10 dB จากค่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของสัญญาณ หรือมีการใช้แถบความถี่มากกว่า 500 MHz ช่วงความถี่ที่สามารถใช้งานค่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงาน -41 dBm/MHz คือที่ 6 GHz ถึง 9 GHz และ 4.2 GHz ถึง 4.8 GHz โดยใช้วิธีการลดการรบกวน จนถึงเดือนธันวาคม 2010 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานในประเทศจีนแสดงในรูปที่ 2.13 โดยมีกฎข้อบังคับอื่นๆอีกดังนี้

- อุปกรณ์ของระบบแถบกว้างยิ่งเป็นสิ่งต้องห้ามในการใช้งานบนเครื่องบิน
- อุปกรณ์ของระบบแถบกว้างยิ่งเป็นสิ่งต้องห้ามในการใช้งานในช่วงขอบเขต 1 กิโลเมตรของสถานีวิจัยดาราศาสตร์
- อุปกรณ์ของระบบแถบกว้างยิ่งต้องได้รับการรับรองจากกระทรวงอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสารสนเทศก่อนติดตั้งเพื่อให้บริการ
- อุปกรณ์ภาคส่งของระบบแถบกว้างยิ่งจะต้องไม่สร้างสัญญาณรบกวนกับสถานีวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 สเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งของประเทศจีน [21]

2.5 การประยุกต์และการนำระบบแถบกว้างยิ่งไปใช้งาน

ระบบแถบกว้างยิ่งนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายรูปแบบดังนี้

2.5.1 การประยุกต์ใช้งานเครือข่ายภายในอาคารสำนักงาน

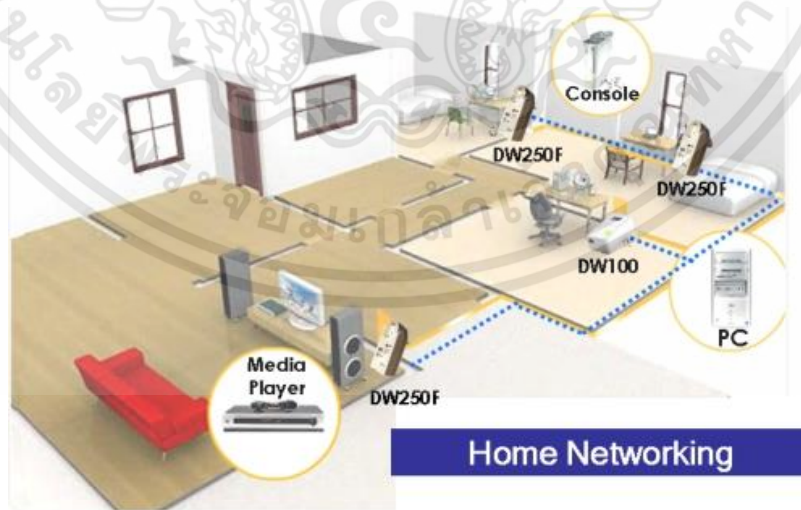
การนำเทคโนโลยีแบบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานในการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภายในอาคารสำนักงาน ซึ่งระบบการสื่อสารแบบไร้สายระยะสั้นมีความต้องการอัตราการส่งข้อมูลสูง เพื่อรองรับระบบมัลติมีเดียที่ใช้ในอาคารสำนักงานดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 การนำเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานเครือข่ายภายในอาคารสำนักงาน [10]

2.5.2 การประยุกต์ใช้งานเครือข่ายภายในที่พักอาศัย

เป็นการนำเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภายในที่พักอาศัย เช่น คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล เครื่องเล่นดีวีดี ทีวี กล้องดิจิตอล เป็นต้น ดังรูปที่ 2.15

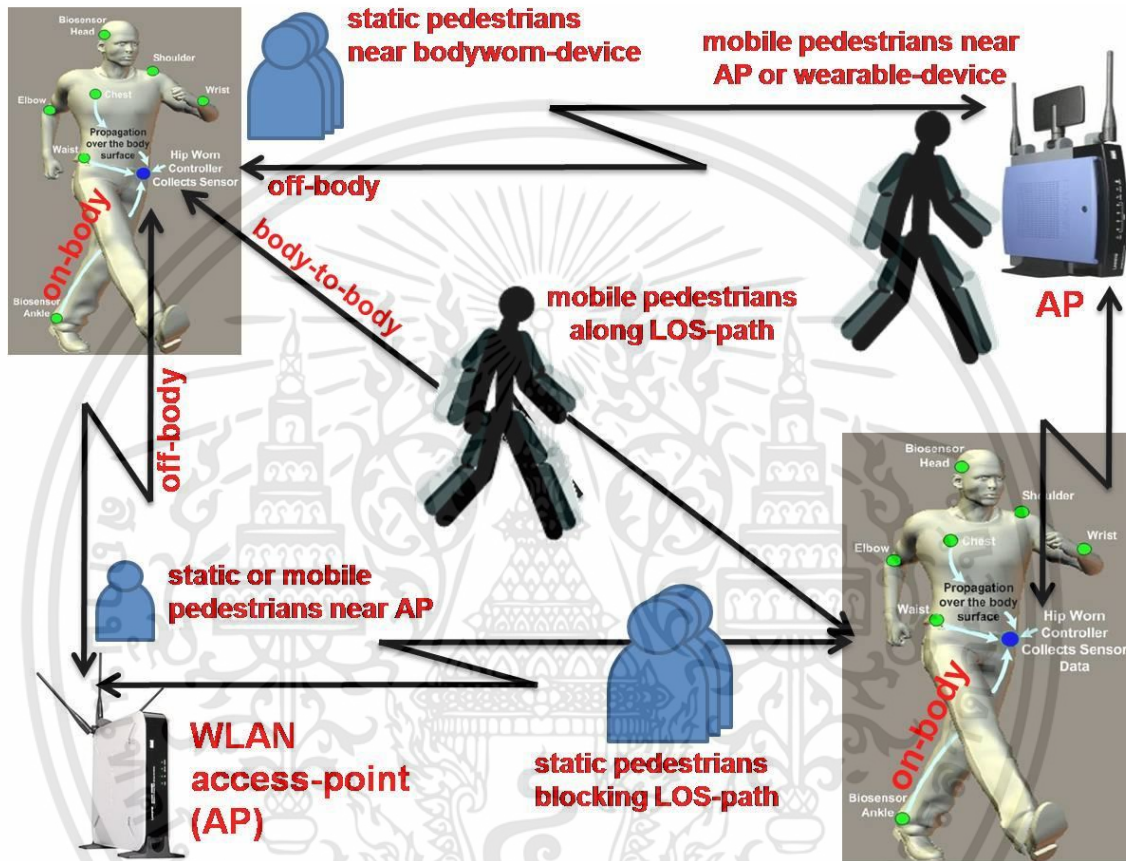


รูปที่ 2.15 การนำเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานเครือข่ายภายในบ้านพักอาศัย [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 การประยุกต์ใช้งานเครือข่ายบนร่างกายมนุษย์

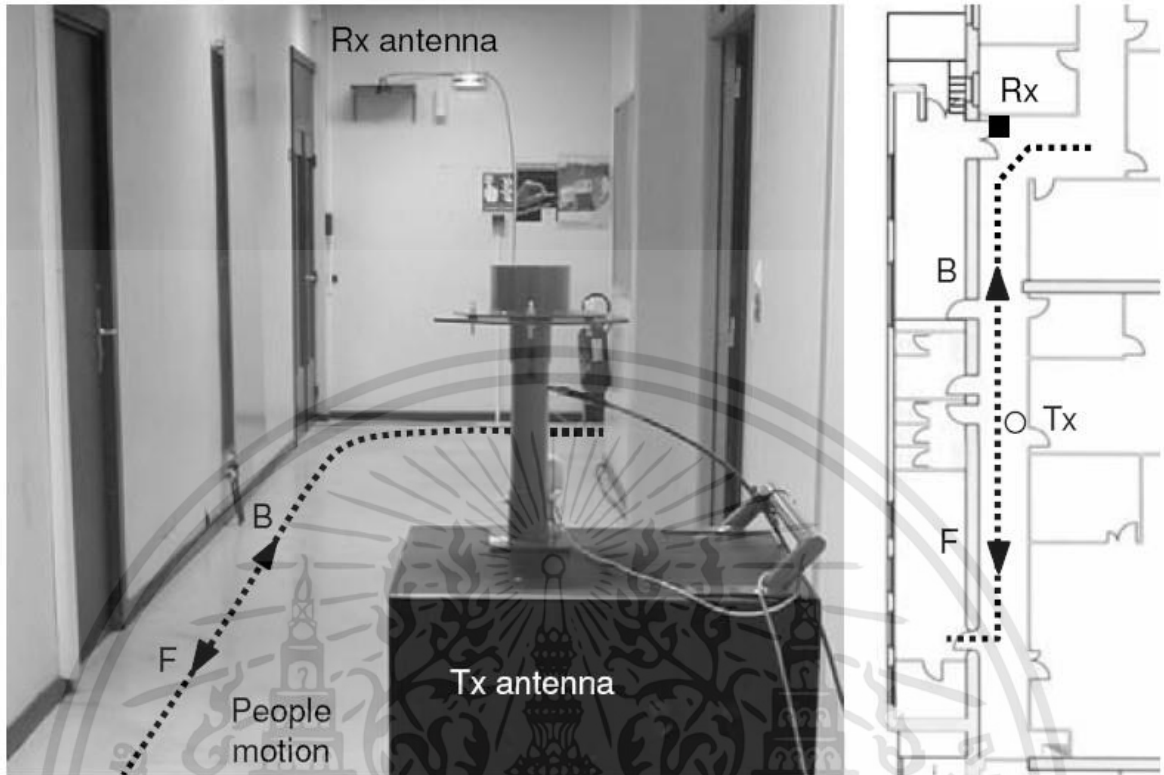
เป็นการนำเทคโนโลยีแบบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานในการเชื่อมต่อกับอวัยวะต่างๆของร่างกายมนุษย์ เพื่อให้อวัยวะของร่างกายสามารถสื่อสารกับโลกภายนอกได้ โดยมีประโยชน์โดยตรงต่อวิชาการทางการแพทย์ สำหรับดูแลสุขภาพ ตรวจวัดสมรรถภาพ เป็นต้น ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 การนำเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานเครือข่ายบนร่างกายมนุษย์ [20]

2.5.4 การประยุกต์ใช้งานในการค้นหาตำแหน่ง

เทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบเรดาร์ เพราะเป็นเทคโนโลยีที่มีราคาต้นทุนต่ำ เนื่องจากระบบเรดาร์เป็นระบบที่ยังมีความต้องการของตลาดในอนาคต สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบการเคลื่อนที่ของวัตถุ, ตรวจสอบเพื่อหลีกเลี่ยงการชน, การตรวจจับความเร็วบนถนน, ใช้เป็นระบบรักษาความปลอดภัยส่วนบุคคลในการตรวจสอบการเคลื่อนที่ในพื้นที่ที่เราต้องการความปลอดภัยสูงหรือพื้นที่ที่ต้องการความเข้มงวดในการตรวจสอบสูง, ประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบทะลุผ่านวัสดุที่ใช้ทำอาคารเช่น ไม้, อิฐ, อิฐบล็อก, ไฟเบอร์, พลาสติกและคอนกรีต ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 การนำเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานค้นหาตำแหน่ง

2.6 สรุป

บทนี้ได้กล่าวถึงประวัติความเป็นมาของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง (Ultra wideband) ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน รวมถึงการข้อกำหนดในการใช้งาน ข้อบังคับต่าง ๆ ของประเทศสหรัฐอเมริกา (FCC) ยุโรป ญี่ปุ่น เกาหลี และจีน ไม่ว่าจะในช่วงความถี่ที่ใช้งานซึ่งจะสัมพันธ์กับแบนด์วิดท์ของระบบ ระดับกำลังงานที่แพร่กระจายทั้งภายในและภายนอกอาคาร ที่กำหนดโดยองค์กรที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องของอาทิเช่น คณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา และสถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป หรือ สหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ การประยุกต์และการนำไปใช้งานในด้านต่าง ๆ ของการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นองค์ความรู้เบื้องต้นของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

บทที่ 3

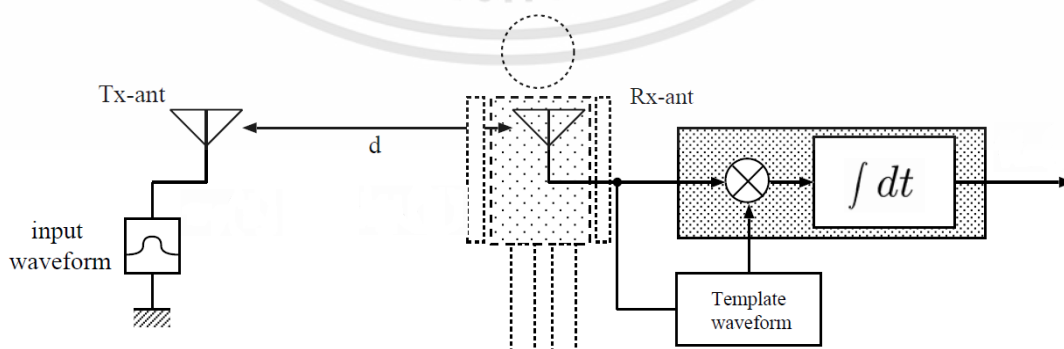
การวิเคราะห์ของช่องสัญญาณการส่งผ่านแบบแถบกว้าง สำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์

3.1 กล่าวนำ

ระบบการสื่อสารแบบไร้สายแบบแถบกว้างนั้นมีหลายปัจจัยด้วยกันที่มีความจำเป็นจะต้องศึกษาพิจารณาถึงคุณลักษณะการส่งผ่านของช่องสัญญาณ การสูญเสียในอวกาศว่าง และความผิดเพี้ยนจากสายอากาศ เป็นต้น ซึ่งเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณ โดยในการแพร่กระจายคลื่นของสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารและภายนอกอาคาร เป็นอีกสิ่งหนึ่งที่มีความสำคัญ เนื่องจากผลกระทบที่เกี่ยวกับทิศทาง ขอบเขตของเส้นทางและปัจจัยอื่น ๆ ล้วนแต่ส่งผลในการประเมินค่าประสิทธิภาพของระบบเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง ซึ่งการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบทำได้โดยการนำผลที่ได้จากการวัดมาทำการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆบนพื้นฐานและหลักการทฤษฎีการส่งผ่านของฟรีส ซึ่งพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้ในการวิเคราะห์มีดังนี้

3.2 การส่งผ่านสัญญาณระบบแถบกว้างยิ่งที่ประกอบด้วยร่างกายมนุษย์

ในการส่งผ่านสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่งนั้นจะมีลักษณะแตกต่างจากการส่งสัญญาณคลื่นวิทยุโดยทั่วไปเนื่องจากการเป็นช่องสัญญาณในโดเมนทางเวลาและสัญญาณที่ใช้ในการส่งผ่านนั้นไม่มีการมอดูเลชันกับสัญญาณพาหะก่อนทำการส่งสัญญาณออกผ่านสายอากาศทางด้านส่ง เนื่องจากตามข้อกำหนดโดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา ได้กำหนดให้ใช้ความถี่ในย่าน 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ซึ่งมีแถบความถี่กว้างมาก ในกระบวนการการส่งสัญญาณนั้น เริ่มจากการสร้างสัญญาณที่ใช้ในการส่งผ่านเป็นรูปคลื่นสัญญาณอินพุท ส่งผ่านไปยังสายอากาศด้านส่ง ผ่านช่องสัญญาณไปยังสายอากาศทางด้านรับ เมื่อสัญญาณเดินทางมาถึงสายอากาศทางด้านรับแล้ว จากนั้นสัญญาณที่ได้ผ่านกระบวนการส่งผ่านโดยพิจารณาทางด้านรับเป็นแบบสหสัมพันธ์ (Correlation receiver) เพื่อให้ค่าอัตราส่วนกำลังสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR) มีค่าสูงมากที่สุด จากนั้นจึงมาถึงขั้นตอนของการตรวจจับสัญญาณและนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์เปรียบเทียบความสอดคล้องระหว่างในทางทฤษฎีและทางปฏิบัติต่อไป



รูปที่ 3.1 ระบบของการส่งผ่านแถบกว้างยิ่งสำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 ผลตอบสนองความถี่ของสัญญาณ

ในการพิจารณาการวัดช่องสัญญาณโดยใช้เครื่องวิเคราะห์เครือข่าย สิ่งที่ต้องทำความเข้าใจเป็นอันดับแรกคือ ระบบและสัญญาณ โดยระบบคือกลุ่มของวัตถุที่รวมกันซึ่งสามารถทำงานร่วมกันเพื่อให้สำเร็จตามจุดมุ่งหมายที่ต้องการและสัญญาณคือปริมาณทางกายภาพบางอย่างที่ถูกป้อนเข้าสู่ระบบเรียกว่า สัญญาณเข้าหรือสัญญาณอินพุต (Input signal) ของระบบและจะมีปริมาณทางกายภาพบางอย่างออกมาจากระบบซึ่งเรียกว่า สัญญาณออกหรือสัญญาณเอาต์พุต (Output signal) หรือผลตอบสนอง (Response) ของระบบ โดยสามารถแสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบดังรูปที่ 3.2 ที่ซึ่งผลตอบสนอง ดังกล่าวนั้นจะเป็นสิ่งที่ใช้แสดงถึงคุณสมบัติของระบบและจากการวัดผลที่ได้ก็คือค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของสัญญาณซึ่งแปรผันตรงกับฟังก์ชันถ่ายโอนทางความถี่ (Frequency transfer function : $H(f)$) ของช่องสัญญาณโดยฟังก์ชันถ่ายโอนดังกล่าวนี้จะแสดงให้เห็นถึงผลตอบสนองความถี่ของช่องสัญญาณที่ทำการพิจารณาอยู่ซึ่งประกอบด้วยระดับสัญญาณที่ส่งผ่าน (Magnitude) และผลตอบสนองทางเฟส (Phase) ของสัญญาณโดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านสัญญาณกับฟังก์ชันถ่ายโอนของช่องสัญญาณนั้นกำหนดตามสมการที่ 3.1 [7] และแสดงดังรูปที่ 3.2



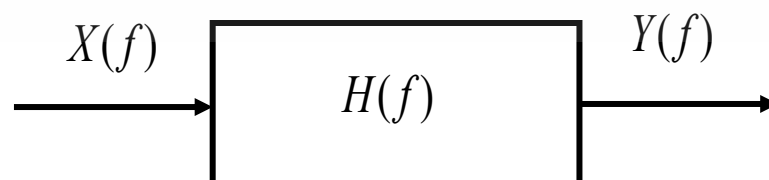
รูปที่ 3.2 ระบบเชิงเส้น

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

โดยที่

$Y(f)$ คือ เอาต์พุตของระบบในโดเมนความถี่

$X(f)$ คือ อินพุตของระบบในโดเมนความถี่



รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของระบบในโดเมนความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.1 ผลตอบการสนองของสัญญาณอิมพัลส์

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

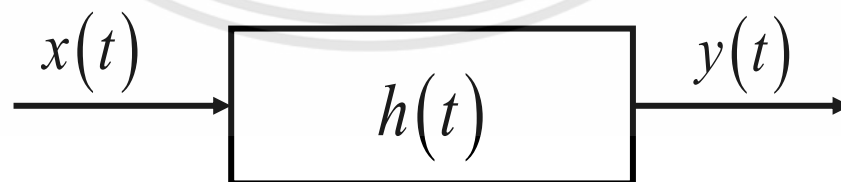
ฟังก์ชันอิมพัลส์จะไม่เหมือนกับฟังก์ชันทั่วไปโดยฟังก์ชันอิมพัลส์หนึ่งหน่วยมักนิยามแทนด้วยสัญลักษณ์ $\delta(t)$ และมีคุณสมบัติดังนี้คือ

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

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

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

จากผลของการทำปริพันธ์ฟังก์ชันใดๆ นั้น มีผลเท่ากับพื้นที่ใต้เส้นโค้งที่แสดงค่าฟังก์ชันนั้น มาช่วยอธิบายในสมการ 3.3 กล่าวได้ว่าพื้นที่ใต้เส้นโค้งของ $\delta(t-t_0)$ มีค่า 1 หน่วย โดยค่าที่ได้จากการทำปริพันธ์นี้นิยมเรียกว่า น้ำหนัก (weight) ของฟังก์ชันอิมพัลส์นั้น ดังนั้นจะพบว่าน้ำหนักของฟังก์ชัน $A\delta(t)$ มีค่าเท่ากับ A หน่วย ฟังก์ชันอิมพัลส์ที่มีน้ำหนัก 1 หน่วยนั้นเรียกว่า ฟังก์ชันอิมพัลส์หนึ่งหน่วย (Unit impulse function) แม้ว่าฟังก์ชันอิมพัลส์จะไม่สามารถสร้างได้จริงในทางปฏิบัติแต่ในทางทฤษฎีจะมีบทบาทในการวิเคราะห์สัญญาณและระบบโดยเฉพาะการบอกคุณสมบัติของระบบอีกทั้งสัญญาณอินพุตที่เป็นฟังก์ชันอิมพัลส์หนึ่งหน่วยนั้นยังถูกนิยามเรียกว่า ผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบใช้สัญลักษณ์ $h(t)$ แทนผลตอบสนองดังกล่าวซึ่งผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบสามารถใช้เป็นตัวแทนของระบบเพราะสามารถบอกคุณสมบัติของระบบนั้นได้และโดยเฉพาะเมื่อระบบภายใต้การพิจารณาเป็นระบบเชิงเส้นไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลาค่าเอาต์พุต $y(t)$ ของระบบที่เกิดจากสัญญาณอินพุต $x(t)$ ใด ๆ นั้นสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้รูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของระบบในโดเมนเวลา

3.3 การสูญเสียเชิงวิถี

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

ในระบบสื่อสารไร้สาย สัญญาณที่กำเนิดขึ้นจากภาคส่งที่จะต้องนำไปป้อนเข้าสู่สายอากาศเพื่อแปลงสัญญาณไฟฟ้าไปเป็นสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic) สำหรับแพร่กระจายผ่านช่องสัญญาณซึ่งโดยทั่วไปก็คืออากาศ เมื่อสัญญาณเดินทางมาถึงภาครับก็จะมีสายอากาศรับสัญญาณซึ่งทำหน้าที่กลับกันจากภาคส่ง คือทำการแปลงสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากลับไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าอีกครั้ง ในการส่งคลื่นสัญญาณผ่านอวกาศว่างนั้น มักจะนิยามให้ค่าการสูญเสียเชิงวิถีในอวกาศว่าง (Free space path loss) มีค่าเป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังงานของสัญญาณที่รับได้ต่อกำลังงานของสัญญาณที่ถูกส่งออกมา ซึ่งมีความสัมพันธ์ตามสมการที่ 3.4 โดยสมการความสัมพันธ์ที่ได้จะเรียกกันทั่วไปว่าสมการการส่งผ่านของฟรีส (Friis's transmission equation)

$$G_{\text{Friis}}(f) = \frac{P_R}{P_T} = G_T G_R \left[\frac{\lambda}{4\pi d} \right]^2 \quad (3.4)$$

โดยที่

P_R	คือ กำลังงานของสัญญาณที่รับได้
P_T	คือ กำลังงานของสัญญาณที่ส่งออกมา
G_R	คือ อัตราขยายของสายอากาศรับ
G_T	คือ อัตราขยายของสายอากาศส่ง
λ	คือ ค่าความยาวคลื่น ซึ่ง $\lambda = \frac{c}{f}$
c	คือ ความเร็วแสง (3×10^8 m/s)
f	คือ ความถี่ของสัญญาณ (Hz)
d	คือ ระยะทางระหว่างภาคส่งและภาครับ (m)

ค่าการสูญเสียกำลังงานของสัญญาณในอวกาศว่างโดยทั่วไปจะคิดค่าเป็นหน่วยของเดซิเบล (dB) ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} L_{\text{dB}} &= 10\log(P_T) - 10\log(P_R) \\ &= 32.44 + 20\log(f) + 20\log(d) - 10\log(G_T) - 10\log(G_R) \end{aligned} \quad (3.5)$$

โดยที่ d มีหน่วยเป็น Km และ f มีหน่วยเป็น MHz จากสมการนี้จะเห็นได้ว่าค่าการสูญเสียของสัญญาณจะเพิ่มตามระยะทางและค่าความถี่ของคลื่นสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การประเมินผลการเชื่อมโยงในอวกาศว่าง

3.4.1 แบบจำลองการส่งผ่านสำหรับระบบ UWB-IR

สำหรับระบบ UWB-IR การเชื่อมโยงในอวกาศว่างเป็นสูตรที่อยู่ในพจน์ของฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ที่ได้พิจารณาถึงรูปคลื่นที่ใช้ส่ง ความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นอันเนื่องมาจากสายอากาศช่องสัญญาณและเครื่องรับสหสัมพันธ์ ฟังก์ชันการถ่ายโอนในอวกาศว่าง $H_f(f, d)$ เขียนได้เป็น

$$H_f(f, d) = \frac{c}{4\pi fd} e^{-j2\pi fd/c} \quad (3.6)$$

ฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณในอวกาศว่าง $H_c(f, d)$ ได้รวมคุณสมบัติของสายอากาศที่ได้จากการประยุกต์สูตรการส่งผ่านของฟรีส ซึ่งนิยามได้โดย

$$H_c(f) = H_f(f, d) H_t(f, \Omega_t) \cdot H_r(f, \Omega_r) \quad (3.7)$$

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

$$\begin{aligned} H_a(f, \Omega_a) &= H_a(f, \theta_a, \varphi_a) \\ &= \hat{\theta}_a H_{a\theta}(f, \theta_a, \varphi_a) + \hat{\varphi}_a H_{a\varphi}(f, \theta_a, \varphi_a) \end{aligned} \quad (3.8)$$

สำหรับสายอากาศทางด้านส่ง (Tx) และด้านรับ (Rx) ฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบเชิงซ้อนของสายอากาศด้านส่งและด้านรับ จะนิยามโดย

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

ดังนั้นรูปคลื่นที่รับได้ทางด้านเครื่องรับ $v_r(t)$ หาได้จาก

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

เมื่อ $V_t(f)$ คือ สเปกตรัมของรูปคลื่นที่ใช้ส่ง

3.4.2 เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์

จากเอาต์พุตของเครื่องรับสหสัมพันธ์ $v_o(t)$ แสดงได้ดังนี้

$$v_o(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v_r(t) h_w(t - \tau) dt \quad (3.11)$$

เมื่อ $h_w(t)$ คือ รูปคลื่นต้นแบบ และ τ คือ เวลาที่สอดคล้องกับรูปคลื่นต้นแบบ ซึ่งเวลาที่ เหมาะที่สุดสามารถหาได้ดังนี้

$$\tau_o = \arg \max_{\tau} v_o(\tau) \quad (3.12)$$

จากนั้น $h_w(t)$ ได้ถูกนอร์มัลไลซ์ ให้มีค่าเป็น

$$\int_{-\infty}^{\infty} |h_w|^2 dt = 2B \quad (3.13)$$

โดยที่ B คือ แบนด์วิธของสัญญาณ ดังนั้นเอาต์พุตกำลังสัญญาณรบกวนจะมีค่าคงที่เท่ากับ N_0B ซึ่ง $\frac{N_0}{2}$ คือความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของสัญญาณรบกวนเกาส์แบบสีขาวบวก (Additive white gaussian noise: AWGN)

ภายใต้ข้อจำกัดของสมการที่ (3.13) $h_{wm}(t)$ ช่วยเพิ่มให้ $v_o(\tau_o)$ มีค่าสูงสุด เมื่อ $h_{wm}(t)$ คือ ส่วนกลับของเวลาและรูปแบบขนาดของ $v_r(t)$ กล่าวคือ

$$h_{wm}(t) = \frac{\sqrt{2B} v_r(\tau_o - t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |v_r(t)|^2 dt}} \quad (3.14)$$

ซึ่งกำหนดให้ τ_o ของ $h_{wm}(t) = 0$ ($t < 0$) เพื่อให้เป็นไปตามเงื่อนไข Causality โดยจะ นิยาม $h_{wm}(t)$ เป็นรูปคลื่นต้นแบบสัญญาณที่รับได้

3.4.3 ความเป็นไปได้ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์แบบเหมาะสมที่สุด

จะเห็นได้ชัดจากสมการที่ (3.14) ว่ารูปคลื่นต้นแบบสัญญาณที่ได้รับไม่ใช่ส่วนกลับเวลาของ รูปคลื่นที่ใส่ส่ง แต่ได้รวมคุณลักษณะความถี่ของสายอากาศและการแพร่กระจายในอวกาศว่างเข้าไป เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วย ดังนั้นจึงไม่มีความยืดหยุ่นในการปรับรูปคลื่นต้นแบบให้เป็นไปตามคุณลักษณะของสายอากาศ ในแต่ละมุม เนื่องจากรูปคลื่นได้ถูกสร้างตามสัญญาณ Clock rate อย่างน้อยสองเท่าของความถี่สูงสุดของสัญญาณ ดังนั้นผู้วิจัยจึงพิจารณาปรับรูปคลื่นต้นแบบที่สร้างขึ้นตามความเป็นจริง (Canonical) $h_{wc}(t)$ ในบทความนี้ได้เลือก $h_{wc}(t)$ ซึ่งเหมาะสมสำหรับสายอากาศไอโซทรอปิกและมีค่าอัตราการขยายคงที่ ดังนี้

$$h_{wc}(t) = \frac{\sqrt{2B}v_{r-iso}(\tau_o - t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |v_{r-iso}(t)|^2 dt}} \quad (3.15)$$

เมื่อสัญญาณต้นแบบสำหรับกรณีสายอากาศไอโซทรอปิก $v_{r-iso}(t)$ ทั้งทางด้านรับและด้านส่ง คำนวณได้จาก

$$v_{r-iso}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} H_f(f, d) V_t(f) e^{j2\pi ft} df \quad (3.16)$$

3.4.4 อัตราขยายการส่งผ่าน

ในบทความนี้อัตราการขยายการส่งผ่านนิยามเป็นแอมพลิจูดสูงสุดของเอาต์พุตเครื่องรับ สหสัมพันธ์ที่พิจารณาสายอากาศที่ใช้งานจริงนอร์แมลไลซ์ด้วยคู่สายอากาศไอโซทรอปิกทั้งคู่ จากกรณีนอร์แมลไลซ์ของรูปคลื่นต้นแบบ ค่าของอัตราการขยายที่ได้นี้แสดงอัตราการขยายของอัตราส่วน SNR ดังนั้นอัตราการขยายการส่งผ่านของกรณีต้นแบบสัญญาณที่รับได้ G_{wm} แสดงได้เป็น

$$G_{wm}(t) = \frac{\max \left| \int_{-\infty}^{\infty} v_r(t) h_{wm}(t - \tau) dt \right|}{\max \left| \int_{-\infty}^{\infty} v_{r-iso}(t) h_{wc}(t - \tau) dt \right|} \quad (3.17)$$

ในทำนองเดียวกันอัตราการขยายการส่งผ่านของกรณีต้นแบบสัญญาณไอโซทรอปิก G_{wc} สามารถเขียนเป็น

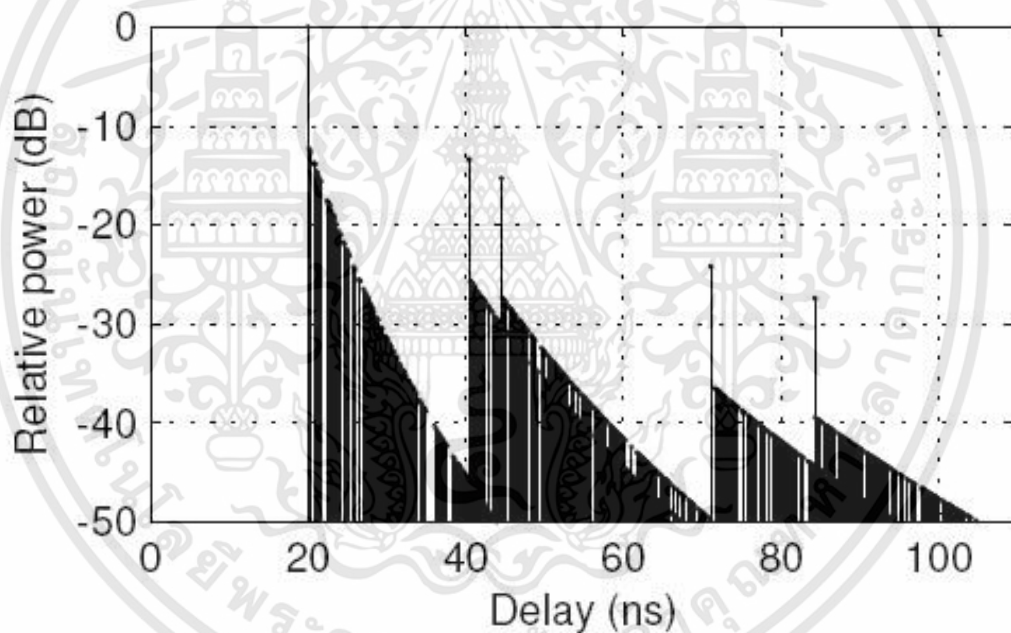
$$G_{wc}(t) = \frac{\max \left| \int_{-\infty}^{\infty} v_r(t) h_{wc}(t - \tau) dt \right|}{\max \left| \int_{-\infty}^{\infty} v_{r-iso}(t) h_{wc}(t - \tau) dt \right|} \quad (3.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแตกต่างระหว่างอัตราการขยายการส่งผ่านของกรณีต้นแบบสัญญาณที่รับได้และกรณีต้นแบบไอโซทรอปิกจะเป็นการระบุปริมาณความผิดเพี้ยนของรูปคลื่น ซึ่งจะเห็นว่าอัตราการขยายการส่งผ่านที่เหมาะสมที่สุดของสัญญาณ UWB - IR ไม่สามารถเป็นเพียงการคูณกันระหว่างอัตราการขยายของสายอากาศ ดังนั้นจึงแตกต่างจากสูตรการส่งผ่านสัญญาณของฟรีสแบบดั้งเดิม

3.5 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน

เป็นการแสดงให้เห็นถึงระดับกำลังงานของสัญญาณที่เข้ามาถึงภาครับที่เวลาต่าง ๆ อีกทั้งยังแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของสัญญาณที่มีการสะท้อนในหลายทิศทางหรือที่เรียกว่าสัญญาณหลายวิถี โดยจะเรียกว่า ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน (Power delay profile: PDP) ตัวอย่างของ PDP ได้แสดงดังรูปที่ 3.5 [14] โดยจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างระดับกำลังงานของสัญญาณที่รับได้ต่อเวลาที่เข้ามาถึง และนอกจากนั้นยังสามารถนำไปพิจารณาถึงผลการกระจายทางเวลา (Time dispersion) ประกอบด้วย การประวิงเข้าถึงเฉลี่ย (Mean excess delay) และ ค่าการแผ่ประวิง RMS (RMS delay spread)



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างหน้าตัดข้างการแผ่ประวิงกำลัง [14]

3.6 ค่าการกระจายทางเวลา

จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าเส้นทางการแพร่กระจายของสัญญาณระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับมิได้หลายทิศทาง และสัญญาณแต่ละส่วนมักจะส่งผ่านในเส้นทางที่มีระยะทางไม่เท่ากัน สัญญาณบางส่วนอาจจะเดินทางในระดับเส้นสายตาระหว่างภาคส่งและภาครับ สัญญาณส่วนนี้มักจะเดินทางถึงภาครับได้เร็ว ในขณะที่สัญญาณส่วนอื่นที่มีการตกกระทบพื้นผิวของวัสดุและเกิดการสะท้อนหลายครั้งกว่าจะเดินทางถึงภาครับ สัญญาณมักจะใช้เวลาการแพร่กระจายที่ยาวนานกว่า ความล่าช้าในการเดินทางของสัญญาณแต่ละส่วนก่อให้เกิดปัญหาที่เรียกว่า การแผ่ประวิง (Delay

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

spread) ขึ้น นั่นคือสัญญาณแต่ละส่วนใช้เวลาเดินทางถึงจุดหมายไม่เท่ากัน หากจะพิจารณาถึงเวลาที่ถูกระวังออกไปของสัญญาณที่เข้ามายังภาครับ ในส่วนของการกระจายทางเวลา (Time dispersion) นั้นสามารถที่จะวิเคราะห์โดยใช้พารามิเตอร์ที่เรียกว่า ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ประวิงเกินออกไปจากค่าเวลาเดิมหรือการประวิงเข้าถึงเฉลี่ย (Mean excess delay; $\bar{\tau}$) และค่าการแผ่ประวิง RMS (RMS delay spread; σ_τ) ซึ่งค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 ตัวนี้ถูกนิยามไว้ดังสมการที่ 3.19 และสมการที่ 3.20 ตามลำดับ [14]

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i^2 \tau_i}{\sum_{i=1}^n a_i^2} = \frac{\sum_{i=1}^n P(\tau_i) \tau_i}{\sum_{i=1}^n P(\tau_i)} \quad (3.19)$$

ซึ่ง

$\bar{\tau}$ คือ การประวิงเข้าถึงเฉลี่ย

a_i คือ ระดับของสัญญาณเส้นทางที่ i

τ_i คือ เวลาประวิงที่เกิดขึ้นของสัญญาณเส้นทางที่ i

$P(\tau_i)$ คือ ระดับกำลังงานของสัญญาณเส้นทางที่ i

สำหรับค่าการแผ่ประวิง RMS นั้นจะมีนิยามคือ

$$\sigma_\tau = \sqrt{\tau^2 - (\bar{\tau})^2} \quad (3.20)$$

โดยที่

$$\tau^2 = \frac{\sum_{i=1}^n a_i^2 \tau_i^2}{\sum_{i=1}^n a_i^2} = \frac{\sum_{i=1}^n P(\tau_i) \tau_i^2}{\sum_{i=1}^n P(\tau_i)} \quad (3.21)$$

3.7 อัตราความผิดพลาดบิต

พารามิเตอร์อีกตัวหนึ่งที่นิยมนำมาวิเคราะห์เพื่อแสดงให้เห็นถึงระดับอัตราความผิดพลาดบิตที่เข้ามายังภาครับ ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงประสิทธิภาพในการส่งผ่านข้อมูลในแต่ละจุดที่ได้ทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ โดยพิจารณาจากสัมประสิทธิ์การส่งผ่านระหว่างสัญญาณที่รับได้กับค่าสัญญาณที่ใช้ในการส่ง [13] อัตราส่วนของ ดังแสดงในสมการที่ 3.23

$$C_c = \frac{\int_0^\infty |V_c(f, d)| df}{\int_0^\infty |V_r(f, d)|^2 df \cdot \int_0^\infty |H_c(f, d)|^2 df} \quad (3.22)$$

$$BER_m = Q \left[\sqrt{\frac{(E_b/N_0) f_b C_c}{br}} \right] \quad (3.23)$$

โดยที่

$$Q = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2/2} dt, x \geq 0 \quad (3.24)$$

โดยที่

- E_b/N_0 = อัตราบิตข้อมูลต่อสัญญาณรบกวน
- C_c = ฟังก์ชันสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
- br = อัตราในการส่งข้อมูลระดับบิตต่อวินาที
- f_b = ความกว้างของแถบความถี่

3.8 สรุป

บทนี้ได้กล่าวถึงการประยุกต์ใช้สูตรการส่งผ่านของฟรีส สำหรับการส่งผ่านแถบกว้างยิ่ง เพื่อหาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับช่องสัญญาณแถบกว้าง บนพื้นฐานสูตรการส่งผ่านของฟรีส (โดยการประยุกต์สูตรของฟรีส) และนอกจากนี้ยังได้พิจารณานำเสนอเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์มีความเหมาะสมที่สุดและได้ค่าอัตราส่วนกำลังสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่าสูงมากที่สุด และเครื่องรับแบบไอโซทรอปิก ผลการทดลองวิจัยและผลการวิเคราะห์อัตราขยายการส่งผ่าน หน้าตัดข้างการประวิงกำลัง ซึ่งพารามิเตอร์เหล่านี้ได้แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ อันเนื่องมาจากผลกระทบจากปัจจัยดังที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้น ซึ่งจะแสดงขั้นตอนในการจำลอง และผลของการจำลองในบทต่อไป

บทที่ 4

การจำลองการวัดสัญญาณไร้สายบนร่างกายมนุษย์แถบกว้างยิ่ง

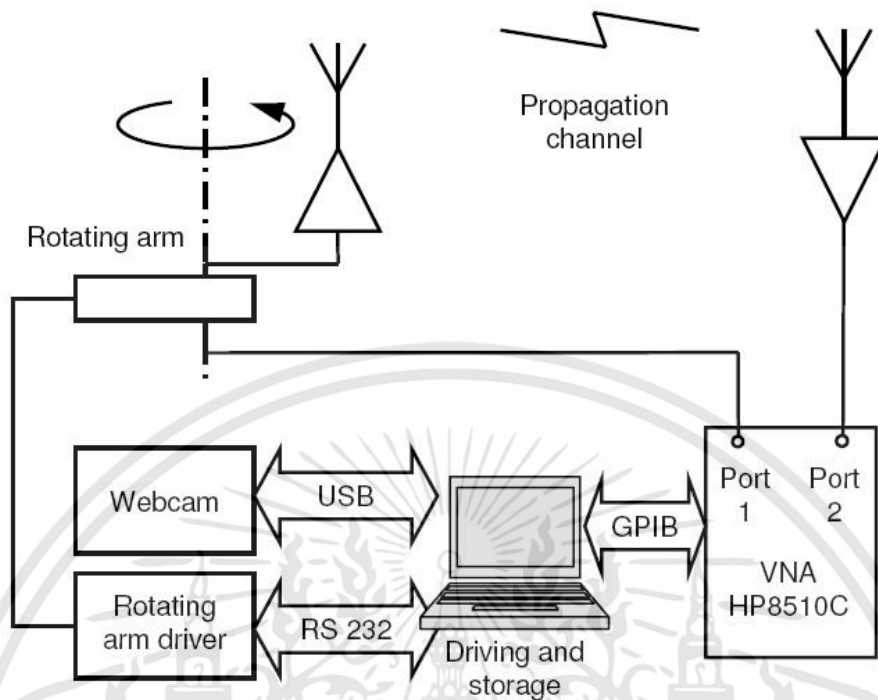
4.1 กล่าวนำ

บทนี้ได้กล่าวถึงแบบแผนการจำลองการวัดของสัญญาณการส่งผ่านแถบกว้างยิ่งในการทดลองวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบผลการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณในระบบการสื่อสารไร้สายแถบกว้างยิ่ง โดยทั่วไปจะมีการพิจารณาอยู่ 2 วิธีด้วยกันคือ ตรวจสอบจากการใช้แบบจำลองช่องสัญญาณ บนโปรแกรมคอมพิวเตอร์และตรวจสอบจากการวัด โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า เครื่องวิเคราะห์โคร่งข่ายแบบเวกเตอร์ ซึ่งเป็นการทดสอบบนโดเมนความถี่ โดยวิทยานิพนธ์นี้จะทำการทดสอบบนพื้นฐานของการวัดเป็นหลักสำหรับขั้นตอนในการวัดนั้นจำเป็นต้องมีการจัดเตรียมอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยจะกล่าวถึงในข้อหัวต่อไปและสิ่งที่สำคัญที่สุดอีกอย่างหนึ่งคือการกำหนดรูปแบบหรือลักษณะสภาพแวดล้อมซึ่งจะเป็นตัวกำหนดปัจจัยของการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณที่ต้องการตรวจสอบโดยจะทำการวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่เกิดจากผลกระทบของร่างกายมนุษย์ที่ส่งผลกระทบต่อระดับของสัญญาณบนช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง โดยเสาอากาศที่ติดกับร่างกายมนุษย์จะทำการหมุนที่ละ 5 องศา ซึ่งได้กำหนดการจำลองของการวัดสัญญาณแถบกว้างยิ่งแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือทำการวัดโดยมีผลกระทบจากร่างกายมนุษย์และไม่มีผลกระทบจากร่างกายมนุษย์

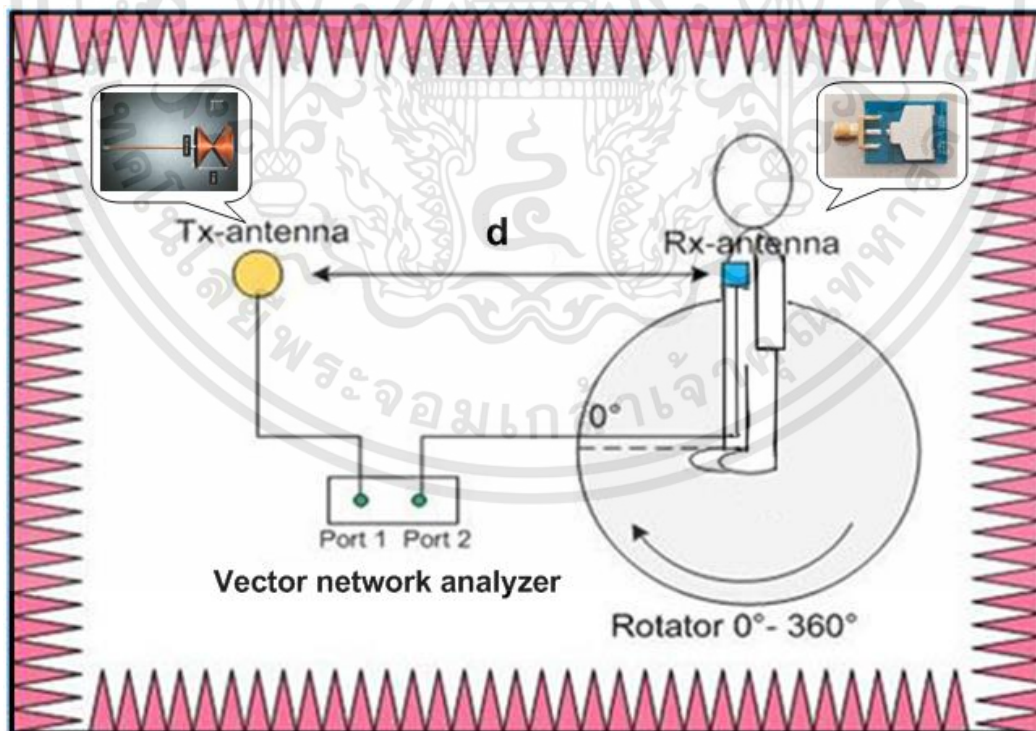
4.2 การเตรียมการสำหรับทดลองวิจัยวัด

เครื่องวิเคราะห์โคร่งข่ายแบบเวกเตอร์จะใช้ทดลองวัดซึ่งใช้วัดการส่งผ่านซึ่งในพอร์ตที่ 1 คือพอร์ตที่ใช้ในการส่งสัญญาณ (Tx) และพอร์ตที่ 2 เป็นตัวรับสัญญาณ (Rx) ตามลำดับ โดยจะวัดในห้องไร้การสะท้อนของคลื่น สายอากาศทั้งด้านรับและด้านส่งจะถูกติดตั้งและมีความสูง 1.75 เมตร มีระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 4 เมตร แสดงไว้ในรูปที่ 4.1

S_{21} เป็นการวัดฟังก์ชันการถ่ายโอนระหว่างสายอากาศทางด้านส่ง และสายอากาศทางด้านรับ สายอากาศทางด้านส่งจะถูกยึดติดและทำมุม 0 องศา และสายอากาศทางด้านรับจะหมุนจากมุม 0 องศา ถึง 360 องศา โดยเคลื่อนที่ครั้งละ 5 องศา ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 การจัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับการทดสอบ



รูปที่ 4.2 การปรับสายอากาศทางด้านรับในมุมมองจากด้านบนที่ประกอบมนุษย์ในห้องไร้การสะท้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 แบบจำลองของสัญญาณที่ใช้ส่ง

รูปแบบสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งที่ใช้ในการส่งได้ถูกกำหนดไว้ คือเราจะพิจารณาในส่วนของสัญญาณอิมพัลส์ซึ่งมีความถี่ครอบคลุมตลอดทั้งช่วงที่ FCC กำหนด คือตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz โดยได้ใช้รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม (Rectangular passband pulse) ในการวิเคราะห์คุณสมบัติของช่องสัญญาณ โดยกำหนดความถี่ต่ำสุด (f_{\min}) เท่ากับ 3.1 GHz ความถี่สูงสุด (f_{\max}) เท่ากับ 10.6 GHz และสเปกตรัมแบนด์วิดท์ (f_b) เท่ากับ 7.5 GHz โดยสมการของรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมแสดงดังสมการที่ 4.1

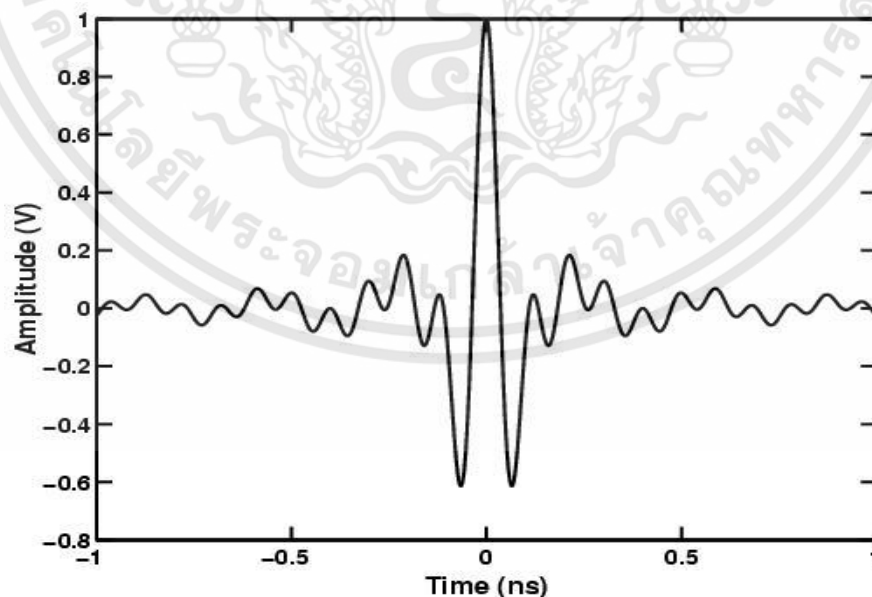
$$v_i(t) = \frac{1}{f_b} [f_{\max} \text{sinc}(2f_{\max}t) - f_{\min} \text{sinc}(2f_{\min}t)] \quad (4.1)$$

โดยที่ $f_{\min} = 3.1$ GHz คือความถี่ต่ำสุด

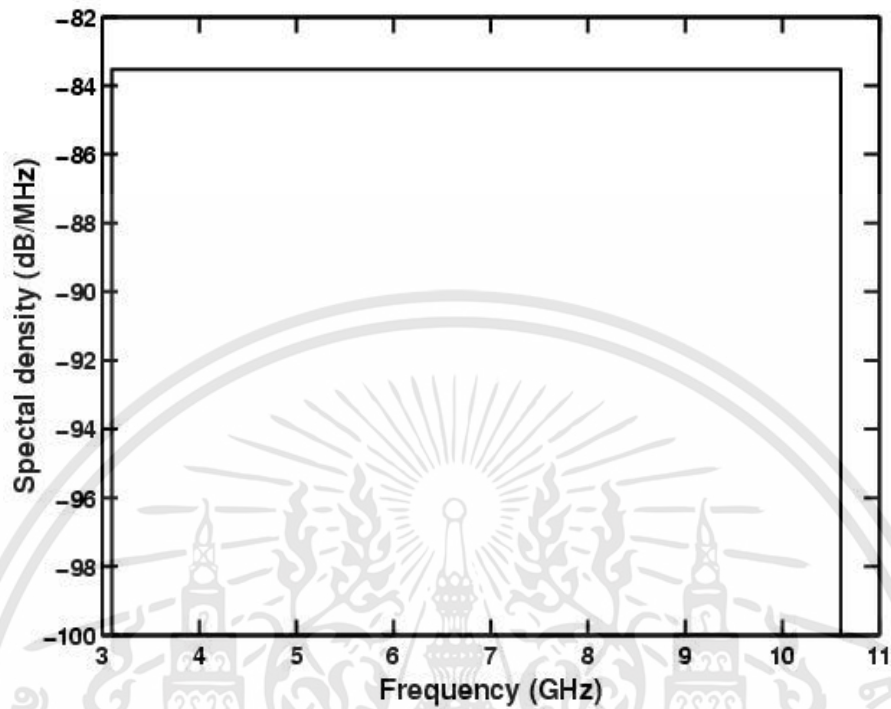
$f_{\max} = 10.6$ GHz คือความถี่สูงสุด

$$\text{sinc}(x) = \frac{\sin(\pi x)}{\pi x}$$

และรูปคลื่นสัญญาณในโดเมนเวลาและขนาดของฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมแสดงในรูปที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ



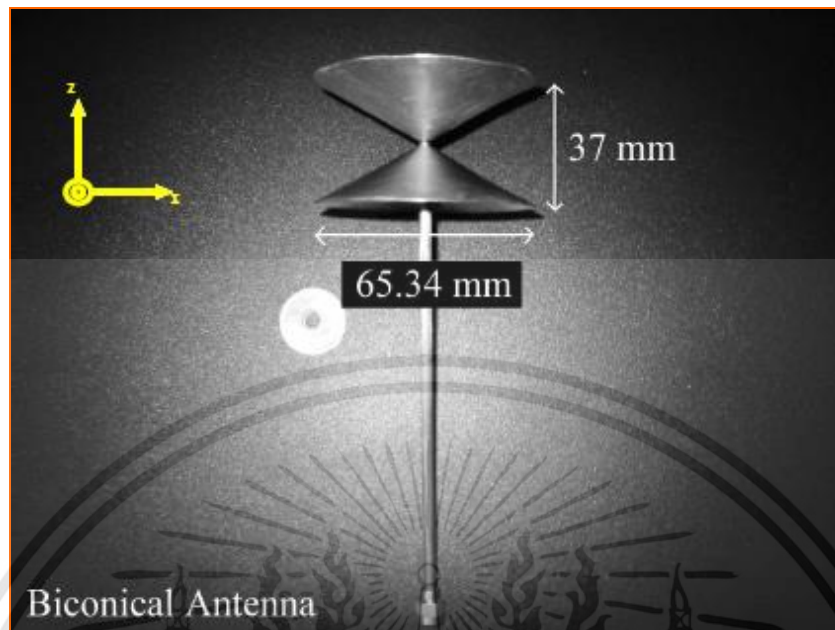
รูปที่ 4.3 รูปคลื่นสัญญาณที่ใช้ในการส่งของแถบกว้างยิ่งในโดเมนทางเวลา [13]



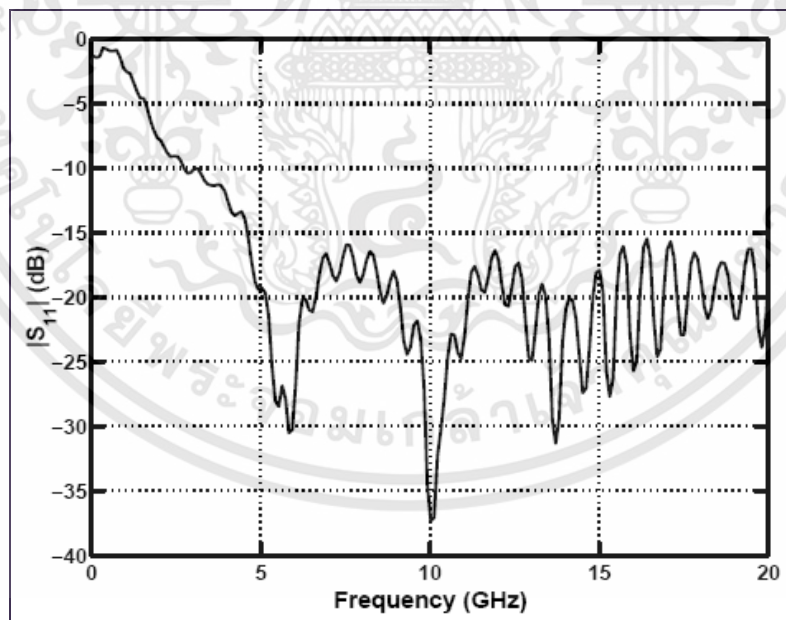
รูปที่ 4.4 สเปกตรัมที่ใช้ในการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่งในโดเมนทางความถี่ [13]

4.3 สายอากาศที่ใช้ในการทดลองวิจัย

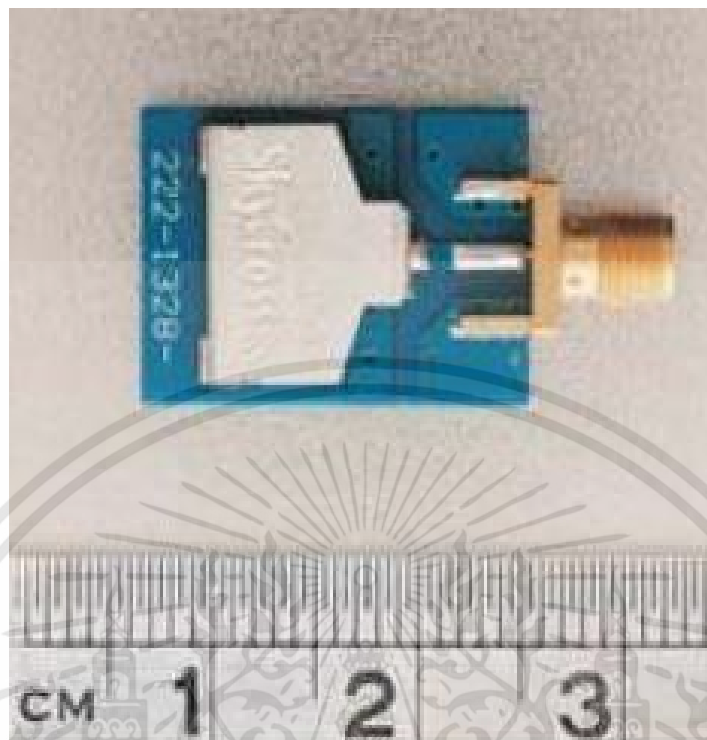
พิจารณาสายอากาศแบบแถบกว้างที่เหมาะสมกับการทดลองของรูปคลื่นพัลส์ ซึ่งโครงสร้างของสายอากาศแบบแถบกว้างยิ่งแสดงในรูปที่ 4.5 และ รูปที่ 4.6 โดยสายอากาศทางด้านส่งจะเป็นสายอากาศแบบกรวยคู่ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุดขนาด 65.3 มิลลิเมตร และยาว 37 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นสายอากาศมาตรฐาน [13] และสายอากาศทางด้านรับจะเป็นสายอากาศแบบเส้นกลาง ดังรูปที่ 4.7 พัฒนาขึ้นโดยบริษัท Skycross ในประเทศสหรัฐอเมริกา [3] เพื่อนำมาใช้เป็นสายอากาศที่ใช้ในการทดลอง



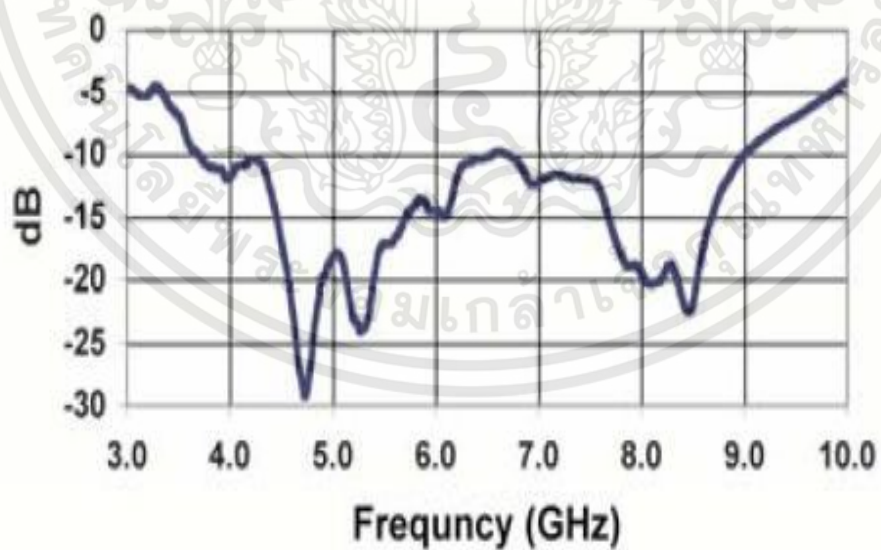
รูปที่ 4.5 โครงสร้างและขนาดของสายอากาศแบบกรวยคู่ (Biconical antenna) [13]



รูปที่ 4.6 สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ $|S_{11}|$ คุณสมบัติของสายอากาศแบบกรวยคู่ [16]



รูปที่ 4.7 สายอากาศแบบเส้นกลาง (Meander line antenna) [17]



รูปที่ 4.8 สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ $|S_{11}|$ คุณสมบัติของสายอากาศแบบเส้นกลาง [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการทดลองได้แสดงให้เห็นในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์	ค่า
ช่วงความถี่	3.0 GHz ถึง 11.0 GHz
จำนวนจุดของความถี่	1601 จุด
พิสัยกำลังพลวัต	80 เดซิเบล
ความสูงของสายอากาศด้านส่ง	1.75 เมตร
ความสูงของสายอากาศด้านรับ	1.75 เมตร
ระยะห่างระหว่างด้านส่งกับด้านรับ	4.0 เมตร
ช่วงที่หมุนทางด้านรับ	0 ถึง 360 องศา
การหมุนทางด้านรับ	5 องศา / ครั้ง

4.5 สรุป

ในขั้นตอนของการทดลองวิจัย สำหรับการวัดช่องสัญญาณการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่งภายในสถานะแวดล้อมที่อยู่ภายในของแบบจำลองในห้องไร้การสะท้อนของคลื่น โดยในแบบจำลองมีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งการวัดของสายอากาศด้านรับเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากตำแหน่งต่างๆในการวางสายอากาศด้านรับด้วย ในการวัดนั้นใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์เป็นอุปกรณ์หลักในการวัดในโดเมนความถี่เพื่อวิเคราะห์หาผลกระทบต่างๆที่เกิดจากสถานะแวดล้อมดังกล่าว โดยใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ที่สามารถตอบสนองที่ความถี่ในช่วง 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ซึ่งเป็นช่วงความถี่ของแถบกว้างยิ่ง เป็นทั้งสายอากาศด้านส่ง และใช้แบบจำลองสัญญาณที่ใช้ส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมที่ผ่านการมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูดเพื่อวิเคราะห์ผลของช่องสัญญาณ ทางด้านรับใช้สายอากาศแบบเส้นกลางติดกับร่างกายมนุษย์จะทำการหมุนทีละ 5 องศา โดยทำการทดลองแบบที่มีร่างกายมนุษย์และแบบไม่มีร่างกายมนุษย์ โดยข้อมูลการวัดที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์และแสดงผลในพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ดังจะแสดงในบทต่อไป

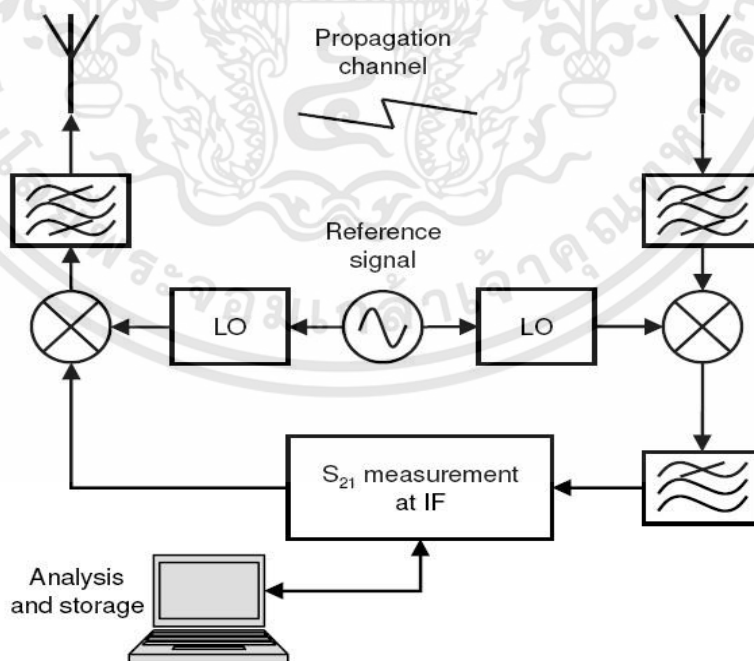
บทที่ 5 ผลการทดลองวิจัย

5.1 กล่าวนำ

บทนี้ได้กล่าวถึงผลของการวิเคราะห์และได้สรุปผลการทดลองวิจัย ในหลักการวิเคราะห์ช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งโดยใช้สูตรการประยุกต์การส่งผ่านของฟรีส และทางด้านรับได้เสนอเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ด้วยสัญญาณที่รับได้ ซึ่งได้แสดงหลักการวิเคราะห์ไว้ในบทที่ 3 ผลที่ได้จากการวัดหรือการทดสอบจริงของช่องสัญญาณการส่งผ่านในสภาพแวดล้อมจริง รูปแบบของสัญญาณส่ง และรูปแบบการจำลองวัดได้ จากนั้นได้นำเอาผลการวัดมาทำการประเมินผล เพื่อนำพารามิเตอร์มาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลของความแตกต่างตลอดจนสอดคล้องกับแนวทางทฤษฎีหรือไม่อย่างไรก็ตามตัวอย่างของผลการทดลองวิจัยที่ได้แสดงในบทนี้ เช่น คุณสมบัติของสายอากาศที่ใช้ในการทดสอบ ขนาดและเฟส และอัตราขยายการส่งผ่านของช่องสัญญาณการแถบกว้างยิ่งด้วยกรณีสายอากาศด้านรับและด้านส่งเหมือนกันโดยใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ และในกรณีที่ใช้สายอากาศแบบเส้นสายกลาง

5.2 หลักการวิเคราะห์ของผลการทดลองวิจัย

การสหสัมพันธ์เพื่อทำให้ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่าสูงที่สุด และยังทำส่งผลให้สัญญาณมีความเหมาะสมที่สุด แสดงดังรูปที่ 5.1 ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลหรือพารามิเตอร์ที่ได้จากการวัดจริง



รูปที่ 5.1 บล็อกไดอะแกรมของการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ผลการวิเคราะห์

จากการทดลองภายในห้องดูดซับการสะท้อนของคลื่นเพื่อลดผลกระทบจากการสะท้อนของคลื่นในบริเวณแต่ละด้านของห้องโดยกำหนดให้สายอากาศทางด้านรับเป็นแบบเส้นตัวนำกลางและสายอากาศทางด้านส่งเป็นแบบกรวยคู่ ซึ่งมีลักษณะและขั้นตอนการวัดดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 โดยผลที่ได้จากการวัดจะแบ่งเป็น 2 กรณีคือ กรณีที่มีผลและไม่มีผลจากร่างกายมนุษย์ในมุมต่างๆ ตั้งแต่ 0 องศา ถึง 360 องศา ซึ่งเมื่อนำข้อมูลดังกล่าวไปวิเคราะห์บนโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะสามารถแสดงให้เห็นถึงผลที่เกิดขึ้นในลักษณะต่างๆ ดังนี้

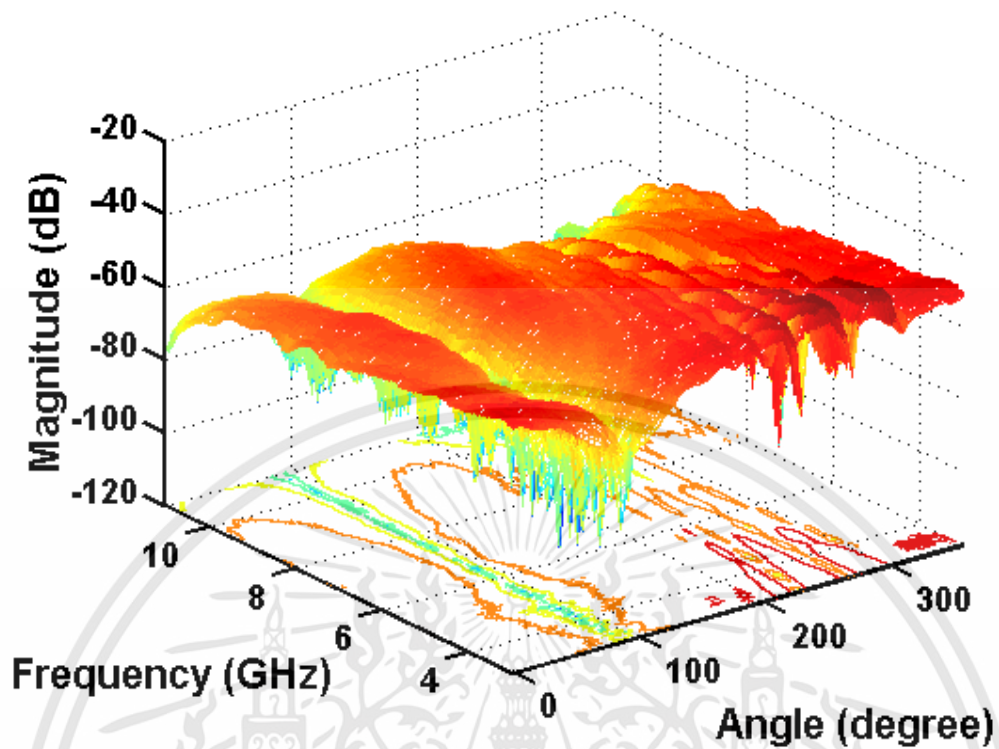
5.3.1 ขนาดและเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอน

รูปที่ 5.2 แสดงถึงขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณ และเฟสในรูปที่ 5.3 ซึ่งเป็นกรณีอวกาศว่าง ส่วนในรูปที่ 5.4 และ รูปที่ 5.5 ได้แสดงขนาดและเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณในกรณีประกอบด้วยร่างกายมนุษย์ที่มีโลหะในร่างกาย สามารถเห็นได้อย่างชัดเจนถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงเป็นไปตามความถี่ของฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณแต่ละองศา เนื่องจากสายอากาศที่ใช้ในการทดลองเป็นสายอากาศแบบเส้นกลางแบบแถบกว้าง ซึ่งจะมีเฟสเป็นเส้นตรงเกือบเหมือนในอุดมคติ ยกเว้นในทิศทางที่ไม่มีสัญญาณซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามความถี่

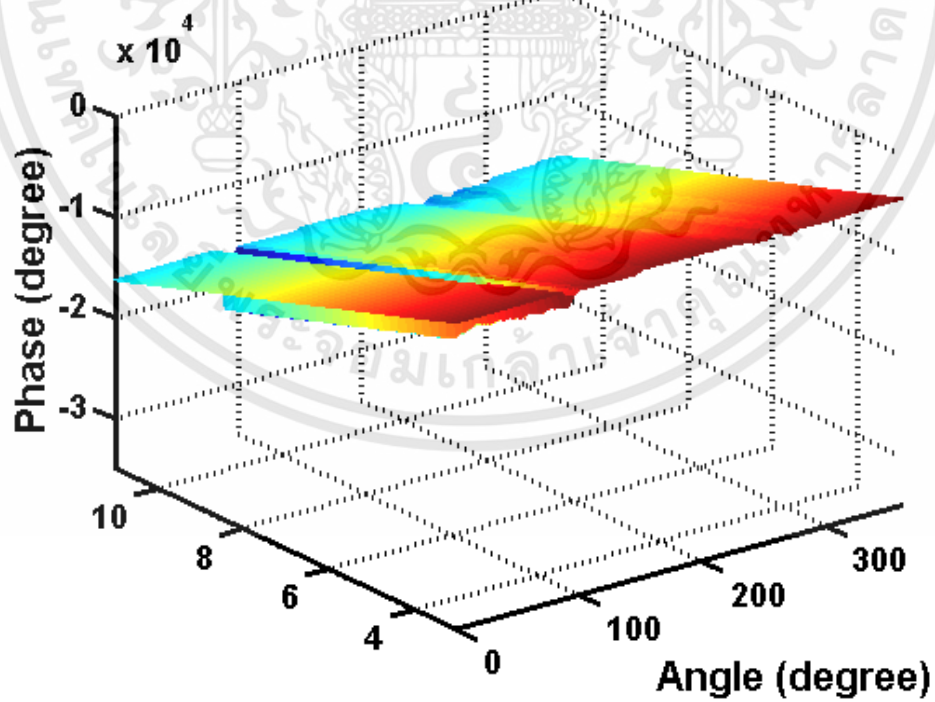
ขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่านของช่องสัญญาณและเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านของช่องสัญญาณเฟสที่ได้จะเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่และมีความเป็นเชิงเส้น ยกเว้นช่วง 90 องศาถึง 200 องศา จะไม่เป็นเชิงเส้นเนื่องจากการบดบังของร่างกายมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่มุม 180 องศา จะเกิดการบดบังอย่างสมบูรณ์จะเห็นถึงความแตกต่างที่เข้ามาถึง ณ ตำแหน่งสายอากาศด้านรับ

5.3.2 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ

ในการแสดงผลของภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณนั้นจะแสดงในรูปแบบของกราฟ 3 แกนคือ เวลาที่ใช้ในการเดินทาง ระดับกำลังงานของสัญญาณที่รับได้และมุมที่ทำการวัด โดยพิจารณาในสองกรณีคือ กรณีที่ไม่มีผลและมีผลจากร่างกายมนุษย์ ซึ่งนำมาเปรียบเทียบกันเพื่อหาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5.4 และ 5.5 ตามลำดับ จากรูปจะเห็นได้ว่า ในกรณีที่ไม่มีผลจากร่างกายมนุษย์นั้นสัญญาณเดินทางมาถึงด้านรับใช้เวลาเท่ากันคือประมาณ 5 นาโนวินาทีโดยมีระดับของสัญญาณที่ต่างกันตามมุมที่ทำการหมุนสายอากาศด้านรับซึ่งที่มุม 90 และ 270 องศาจะมีระดับของสัญญาณต่ำกว่ามุมอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะทางโครงสร้างของสายอากาศ ส่วนในกรณีที่มีผลจากร่างกายมนุษย์นั้นจะเห็นได้ว่าระดับของสัญญาณในแต่ละมุมนั้นลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่มุม 180 องศา ระดับของสัญญาณจะต่ำที่สุดเนื่องจากเกิดการบดบังจากร่างกายมนุษย์ ส่วนในรูปที่แสดงใน 5.6 และ รูปที่ 5.7 ภาพตัดข้างการประวิงกำลังในกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์ และภาพตัดข้างการประวิงกำลังในกรณีประกอบด้วยร่างกายมนุษย์ที่มีโลหะอยู่ในร่างกายตามลำดับ

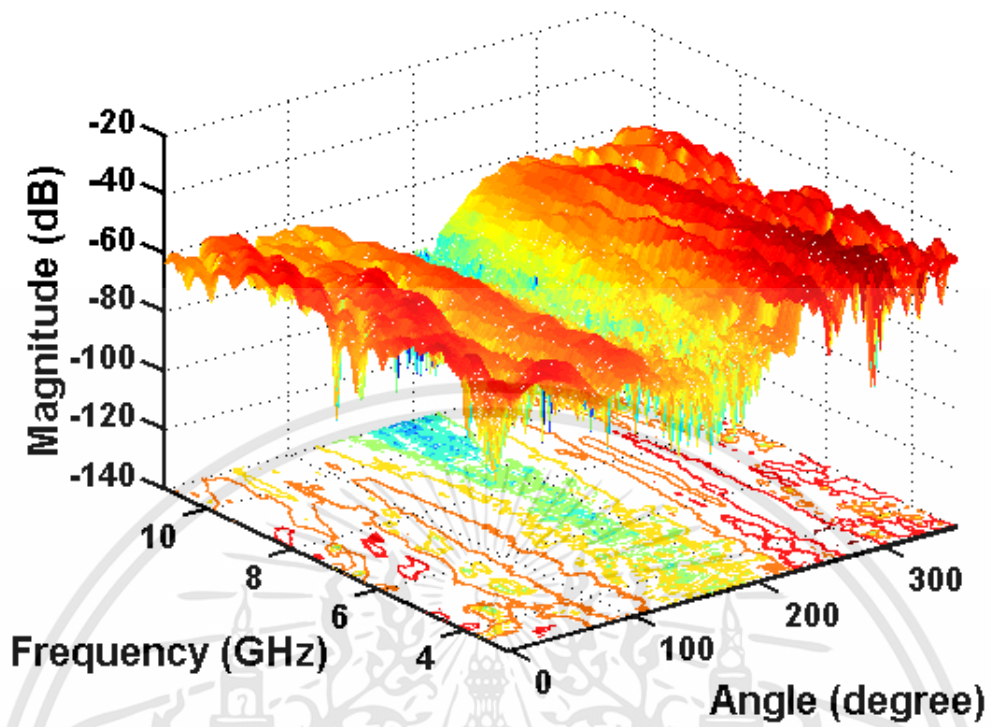


รูปที่ 5.2 ขนาดฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

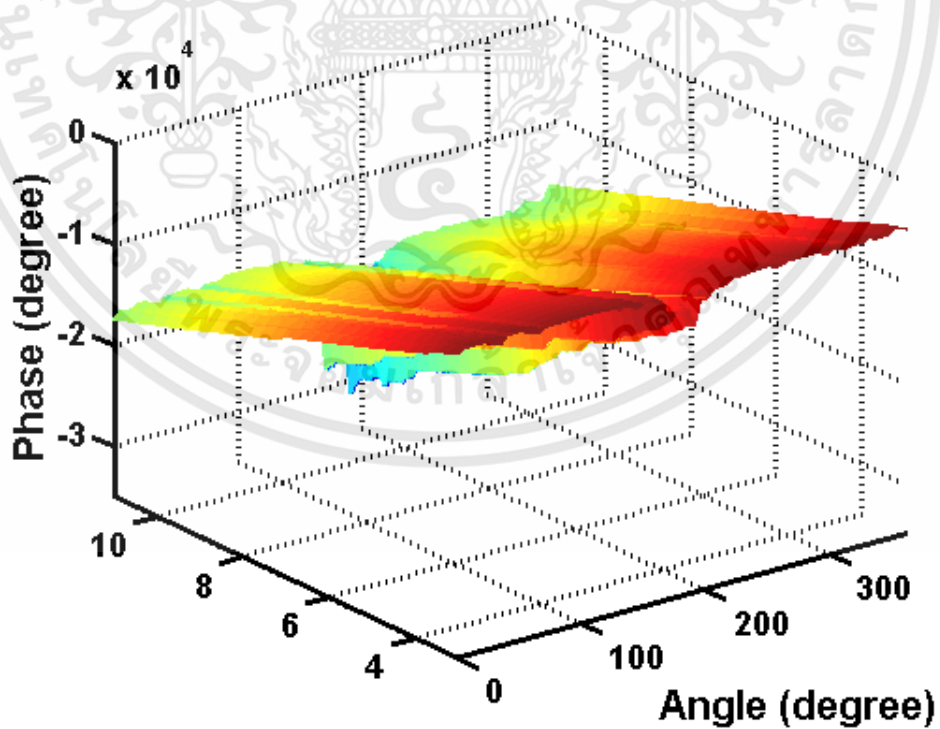


รูปที่ 5.3 เฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

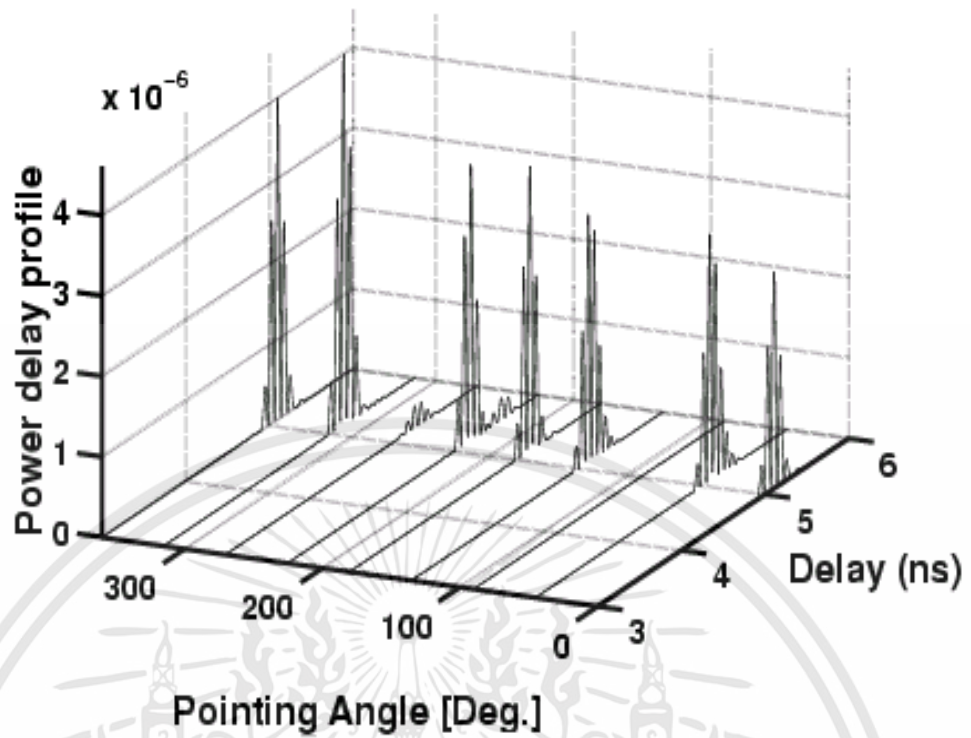


รูปที่ 5.4 ขนาดฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งประกอบด้วยร่างกายมนุษย์

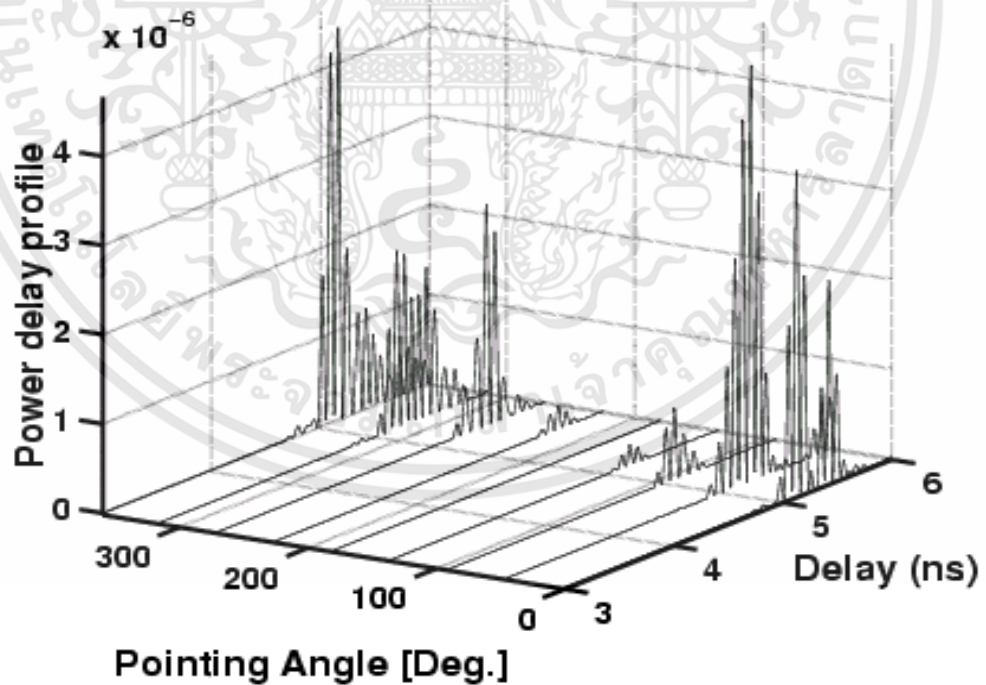


รูปที่ 5.5 เฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งประกอบด้วยร่างกายมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



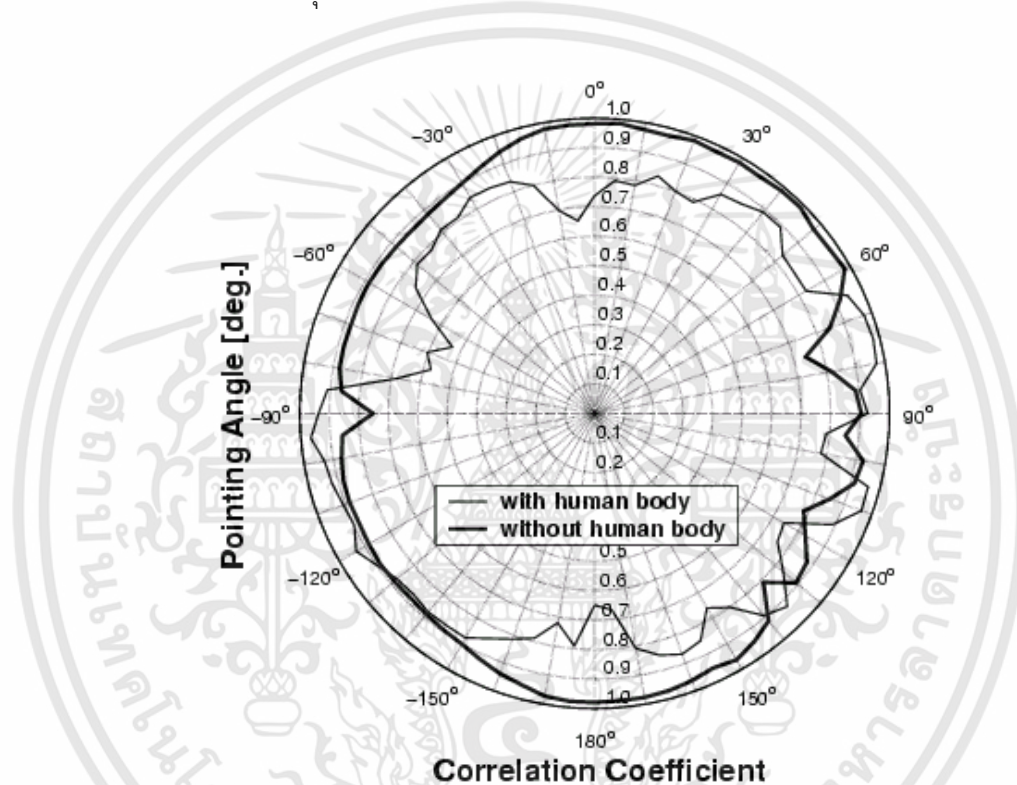
รูปที่ 5.6 ภาพตัดขวางการประวิงกำลังในกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์



รูปที่ 5.7 ภาพตัดขวางการประวิงกำลังในกรณีประกอบด้วยร่างกายมนุษย์ร่างกายมนุษย์

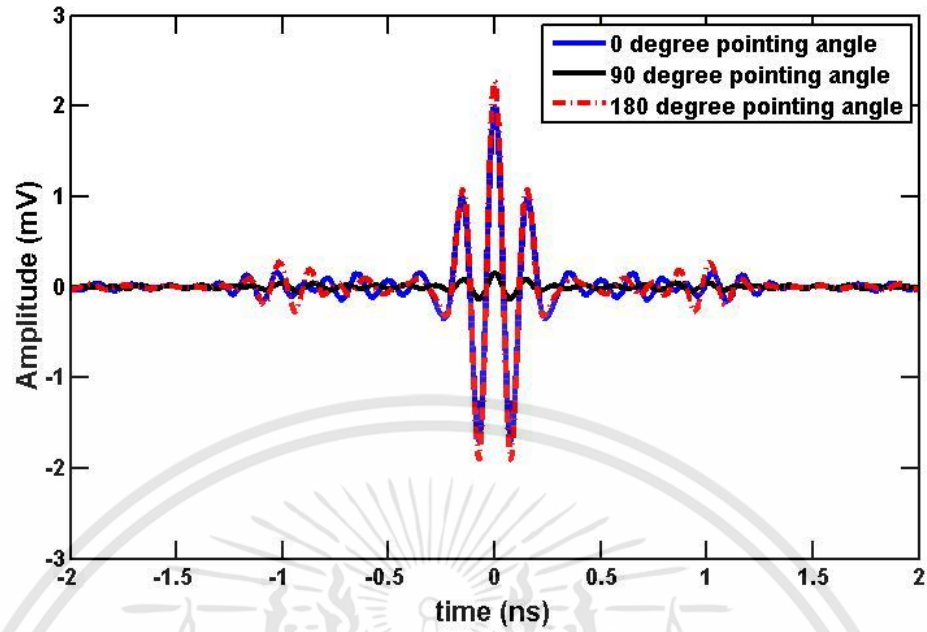
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปจะสังเกตเห็นได้ว่าในกรณีที่ประกอบด้วยร่างกายมนุษย์ที่มีโลหะอยู่ในร่างกาย จะมีผลตรงข้ามกับกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์มีการบดบังสัญญาณและมีความเพี้ยนมากขึ้นกว่ากรณีไม่มีร่างกายมนุษย์ ในรูปที่ 5.8 ได้แสดงถึงการใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ที่พิจารณาใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์เพื่อให้ได้สัญญาณดีที่สุดทางด้านรับ และได้อัตราส่วนของกำลังงานสัญญาณส่งต่อกำลังงานสัญญาณรบกวนสูงสุดด้วย โดยการทำวิเคราะห์และเปรียบเทียบทั้งสองกรณีคือการเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์และในกรณีที่ประกอบด้วยร่างกายมนุษย์ที่มีโลหะอยู่ในร่างกายจะสังเกตเห็นได้ว่าในกรณีที่ประกอบด้วยร่างกายมนุษย์ที่มีโลหะอยู่ในร่างกายมีความเพี้ยนมากกว่ากรณีไม่มีร่างกายมนุษย์ถ้าคิดเป็นเปอร์เซ็นต์

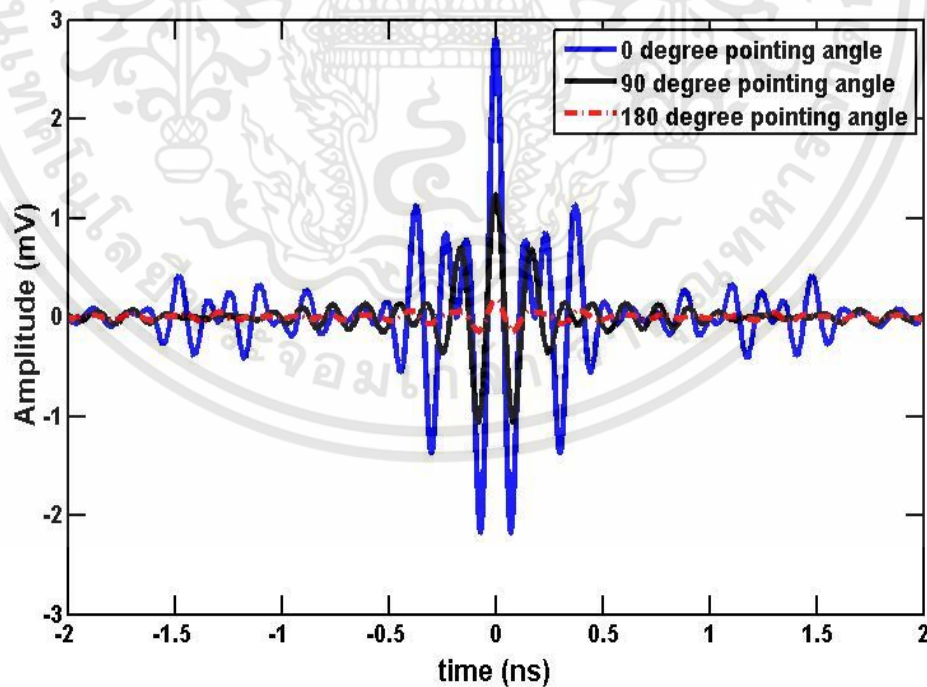


รูปที่ 5.8 การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์และในกรณีที่ประกอบด้วยร่างกายมนุษย์

สำหรับรูปคลื่นสัญญาณที่รับได้ทางภาครับได้ยกตัวอย่างอยู่สองกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์และในที่ประกอบด้วยร่างกายมนุษย์ที่มีโลหะอยู่ในร่างกายได้แสดงในรูปที่ 5.9 และรูปที่ 5.10 ตามลำดับ โดยได้แสดงตัวอย่างรูปคลื่นสัญญาณที่มุม 0, 90 และ 180 องศา จากรูปจะสังเกตเห็นได้ว่า รูปคลื่นสัญญาณที่รับได้มีความแตกต่างกันมากในแต่ละมุม ทั้งในกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์และในที่ประกอบด้วยร่างกายมนุษย์ที่มีโลหะอยู่ในร่างกาย ยิ่งในกรณีที่ประกอบด้วยร่างกายมนุษย์ที่มีโลหะอยู่ในร่างกายจะมีความเพี้ยนของสัญญาณมากกว่าในกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์อาจเป็นเพราะได้อิทธิพลจากร่างกายมนุษย์ และมีโลหะอยู่ในร่างกาย



รูปที่ 5.9 ตัวอย่างรูปคลื่นที่รับได้ในกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์ที่มุม 0, 90 และ 180 องศา

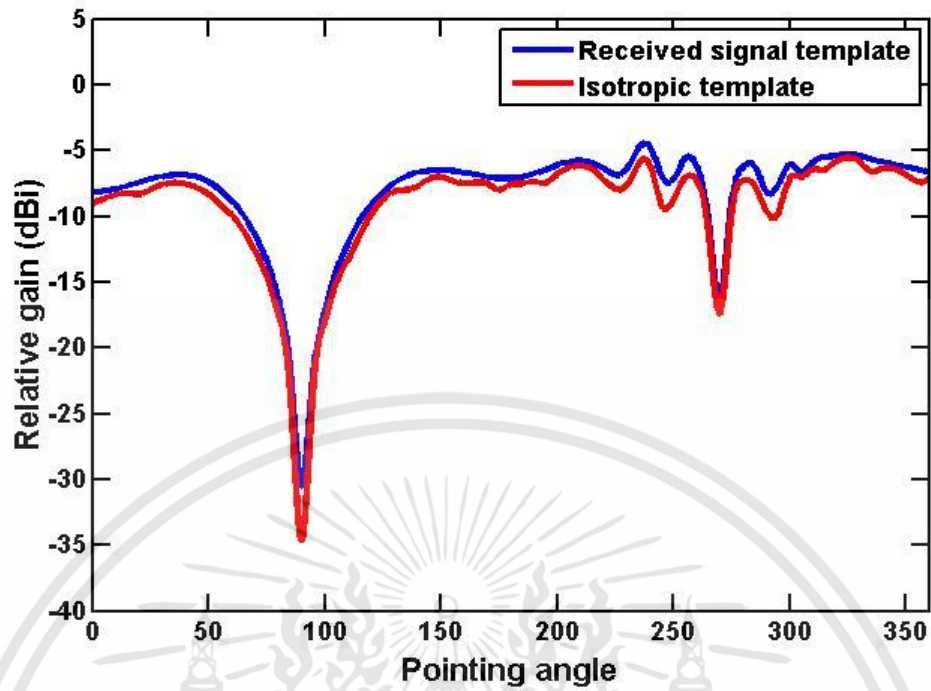


รูปที่ 5.10 ตัวอย่างรูปคลื่นที่รับได้ในกรณีที่ประกอบด้วยร่างกายมนุษย์ที่มุม 0, 90 และ 180 องศา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

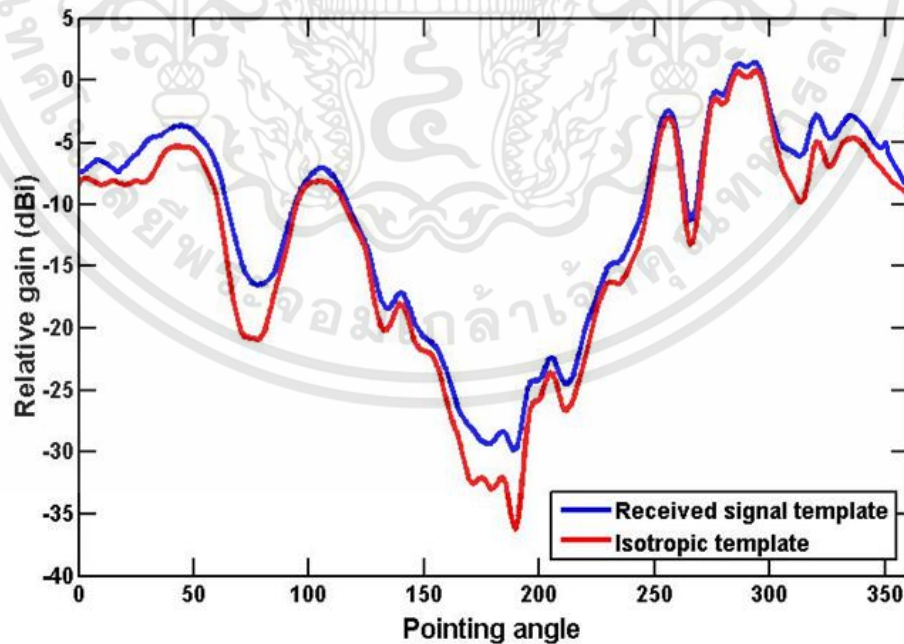
5.3.3 อัตราการขยายสัญญาณในการส่งผ่านแถบกว้างยิ่งในกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์และในกรณี ที่ประกอบด้วยร่างกายมนุษย์ที่มีโลหะอยู่ในร่างกาย

อัตราการขยายของสัญญาณการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่งกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์และในกรณี
ที่ประกอบด้วยร่างกายมนุษย์ที่มีโลหะอยู่ในร่างกายที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.9 และรูปที่ 5.10 จะ
สังเกตเห็นได้ว่าในแต่ละมุมของสายอากาศจะเป็นไปตามการเปลี่ยนแปลงของความถี่จากผลการวัด
จริงได้นำมาเปรียบเทียบกับเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์สองกรณีซึ่งได้สัญญาณที่รับได้มาสหสัมพันธ์
และอีกกรณีหนึ่งได้ใช้สัญญาณจากสายอากาศไอโซทรอปิก เพื่อให้ได้สัญญาณการส่งผ่านที่มีความ
เหมาะสมที่สุดสำหรับระบบ ในกรณีที่พิจารณาไม่มีผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ และที่มีผลกระทบ
จากร่างกายมนุษย์ที่ประกอบด้วยโลหะที่อยู่ในร่างกายมนุษย์ ก็จะได้ผลตรงกันข้ามกันแต่ก็มีความ
เพี้ยนของสัญญาณต่างกันซึ่งในกรณีที่ประกอบด้วยโลหะที่อยู่ในร่างกายมนุษย์ความเพี้ยนมากกว่าแต่
ก็น้อยกว่า 2 dB ความแตกต่างระหว่างเครื่องรับสหสัมพันธ์ที่ใช้สัญญาณที่รับได้มาสหสัมพันธ์และใน
กรณีเครื่องรับสหสัมพันธ์ที่ใช้สัญญาณที่รับได้สายอากาศไอโซทรอปิก ทั้งในกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์
และในกรณีที่ประกอบด้วยร่างกายมนุษย์ที่มีโลหะอยู่ในร่างกาย จะเห็นได้ว่าอัตราการขยายในการ
ส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่งกรณีที่ไม่มีผลจากร่างกายมนุษย์มีค่าเฉลี่ยที่ 0.37 dB และส่วนในกรณีที่มีผล
จากร่างกายมนุษย์ที่มีโลหะอยู่ในร่างกาย 1.48 dB การตอบสนองสูงสุดที่มุม 0 องศา, 180 องศา
และ 360 องศา ซึ่งรวมถึงด้านข้างของสายอากาศ และมีค่าต่ำสุดที่มุม 90 องศา และ 270 องศา ใน
กรณีที่ประกอบด้วยร่างกายมนุษย์ที่มีโลหะอยู่ในร่างกาย ตอบสนองที่มุม 0 องศา, 270 องศา และ
360 องศา ซึ่งรวมถึงด้านข้างของสายอากาศและจะมีค่าต่ำสุดที่มุม 180 องศา

ความแตกต่างระหว่างอัตราการขยายการส่งผ่านของสัญญาณที่ใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ด้วย
สัญญาณที่รับได้ และการสหสัมพันธ์สัญญาณไอโซทรอปิก ได้บอกถึงปริมาณความเปลี่ยนแปลงไป
ตามความถี่ และความเพี้ยนของสัญญาณรูปคลื่น แบบแผนในการวิเคราะห์ความเพี้ยนของสัญญาณ
แถบกว้างยิ่งกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์และในกรณีที่ประกอบด้วยร่างกายมนุษย์ที่มีโลหะอยู่ในร่างกาย
ที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้สามารถประเมินผลความเพี้ยนของสัญญาณ แถบกว้างยิ่งได้ยิ่ง ดังได้
ยกตัวอย่างสองกรณีคือกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์และในกรณีที่ประกอบด้วยร่างกายมนุษย์ที่มีโลหะอยู่
ในร่างกาย



รูปที่ 5.11 อัตราการขยายส่งผ่านแถบกว้างยิ่งกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์



รูปที่ 5.12 อัตราการขยายส่งผ่านแถบกว้างยิ่งกรณีที่ประกอบด้วยร่างกายมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารทงสวนวเสาหรบการใชงานเพื่การศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตเทเนาไปใชประโยชนดานการค้าไมวากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งหามมิใหัดดแปลงเนื้อหา และตองอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช

5.4 สรุป

จากผลการทดลองวิจัย และการประเมินวิเคราะห์ผลของสัญญาณโดยการวัดสัญญาณนั้น ได้ทำการทดลองภายในห้องไร้การสะท้อนซึ่งได้ใช้แบบจำลองในการวัดตามที่ได้แสดงไว้ในบทที่ 4 โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โคจรข่ายแบบเวกเตอร์ทำการวัดและบันทึกผล นำผลที่ได้จากการวัดมาประเมิน เพื่อหาพารามิเตอร์ของ ฟังก์ชันการถ่ายโอน ภาพหน้าตัดข้างการประวิงเวลากำลังงาน และอัตราการขยายสัญญาณ โดยได้เปรียบเทียบกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์และในกรณีที่ประกอบด้วยร่างกายมนุษย์ และนำผลที่ได้จากการวัดจริงมาทำการวิเคราะห์ บนพื้นฐานการประยุกต์ใช้สูตรการส่งผ่านของฟรีส และทางด้านรับได้เปรียบเทียบเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ที่ใช้สัญญาณที่รับได้กับเครื่องรับแบบไอโซทรอปิก จากผลการทดลองวิจัยและผลการวิเคราะห์ของระบบแถบกว้างยิ่งพบว่าร่างกายมนุษย์มีผลต่อช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่ง ทำให้เกิดการสูญเสียจากการแพร่กระจายของสัญญาณอันเนื่องมาจากสายอากาศ และเกิดความเพี้ยนของช่องสัญญาณการส่งผ่านแถบกว้าง



บทที่ 6

สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 กล่าวนำ

วิทยานิพนธ์นี้ได้ประเมินผลของช่องสัญญาณการส่งผ่านแบบแถบกว้าง สำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ โดยได้พิจารณาใช้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งที่ประกอบเข้าด้วยร่างกายมนุษย์ ในหลักการวิเคราะห์สัญญาณการส่งผ่านด้วยการประยุกต์ใช้สูตรการส่งผ่านของฟรีส และทางด้านเครื่องรับได้นำเสนอเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์เพื่อให้ได้สัญญาณที่มีความเหมาะสมที่สุด สำหรับการทดลองวิจัยได้พิจารณาใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ในการวัดและบันทึกผล ซึ่งได้จำลองการวัดภายในห้องไร้การสะท้อนกลับของคลื่น ใช้สายอากาศแถบกว้างสองชนิดด้วยการในการประเมินการวัด ในช่วงความถี่ 3 GHz ถึง 11 GHz โดยกำหนดให้สายอากาศแบบกรวยคู่เป็นสายอากาศด้านส่ง และสายอากาศแบบเส้นตัวนำคดเคี้ยวซึ่งเป็นสายอากาศทางด้านรับที่ประกอบร่างกายมนุษย์ ซึ่งมีขนาดเล็ก นำผลที่ได้จากการวัดมาประเมินผลโดยการประยุกต์ใช้สูตรการส่งผ่านของฟรีสมาทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในโดเมนเวลา เช่น ภาพหน้าต่างข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ อัตราการขยายส่งผ่าน ขนาดและเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านของช่องสัญญาณ โดยทางด้านรับเครื่องรับสหสัมพันธ์สองแบบด้วยกัน คือ เครื่องรับสหสัมพันธ์ด้วยสัญญาณที่รับได้ และเครื่องรับสหสัมพันธ์ด้วยสัญญาณรับจากสายอากาศ ได้แสดงผลการเปลี่ยนที่เกิดขึ้นในเชิงมุมตั้งแต่ 0 องศาถึง 360 ทำเปรียบเทียบในกรณีที่ประกอบด้วยร่างกายมนุษย์ และกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์ไว้ในบทที่ 5 ครบถ้วน

6.2 สรุปผลของการศึกษาทดลองวิจัย

6.2.1 ผลการวิเคราะห์ช่องสัญญาณการส่งผ่านกรณีที่ไม่มีผลจากร่างกายมนุษย์

ได้ทำการทดลองวิจัย วัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่ง ได้จำลองการวัดภายในห้องไร้การสะท้อนกลับของคลื่นโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ และสายอากาศแถบกว้างสองชนิดในการประเมินการวัด ซึ่งประกอบด้วยร่างกายมนุษย์ ด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลการวัดโดยใช้การประยุกต์สูตรการส่งผ่านของฟรีส

จากผลการทดลองวิจัยจะเห็นได้ว่า ผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นต่อช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งในกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพหน้าต่างข้างการประวิงกำลังงานและอัตราขยายสัญญาณมีความแตกต่าง และมีความผิดเพี้ยนน้อยมากประมาณ 0.43 dB และสัญญาณสูงสุดที่มุม 0, 180 และ 360 องศา ส่วนสัญญาณต่ำสุดที่มุม 90 องศา และ 270 องศา อันเนื่องมาจากโครงสร้างของสายอากาศ และในส่วนของผิดเพี้ยนของสัญญาณจะมีค่ามากที่สุดที่มุม 180 องศา

6.2.2 ผลการวิเคราะห์ช่องสัญญาณการส่งผ่านกรณีที่มีผลจากร่างกายมนุษย์

ในการพิจารณาผลกระทบจากการบดบังจากร่างกายมนุษย์ช่วงมุมประมาณ 90 องศา ถึง 270 องศา แต่อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยของความผิดเพี้ยนทั้งหมดของสัญญาณการส่งผ่านก็ไม่ได้เกิน 2 dB แสดงได้ว่าแบบแผนการวิเคราะห์ที่ได้นำเสนอสามารถนำไปใช้ประเมินผลการส่งผ่านแถบกว้างยิ่งได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งอัตราขยายในการส่งผ่าน แต่ก็จะขึ้นกับคุณสมบัติของสายอากาศด้วย ดังนั้นหาก

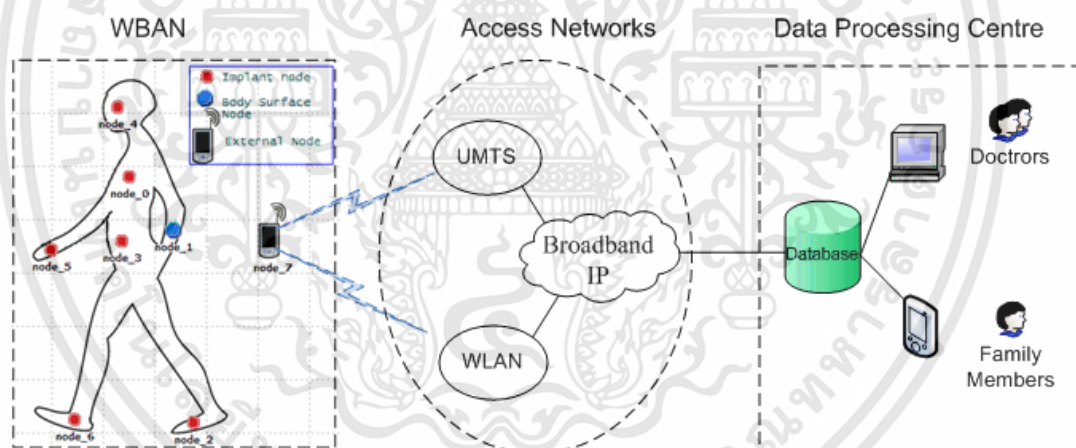
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะพัฒนาสายอากาศมาใช้ในการส่งผ่านบนร่างกายมนุษย์ว่าร่างกายมนุษย์ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ต้องศึกษาวิจัยต่อไป

6.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการวิจัยต่อไปในอนาคต

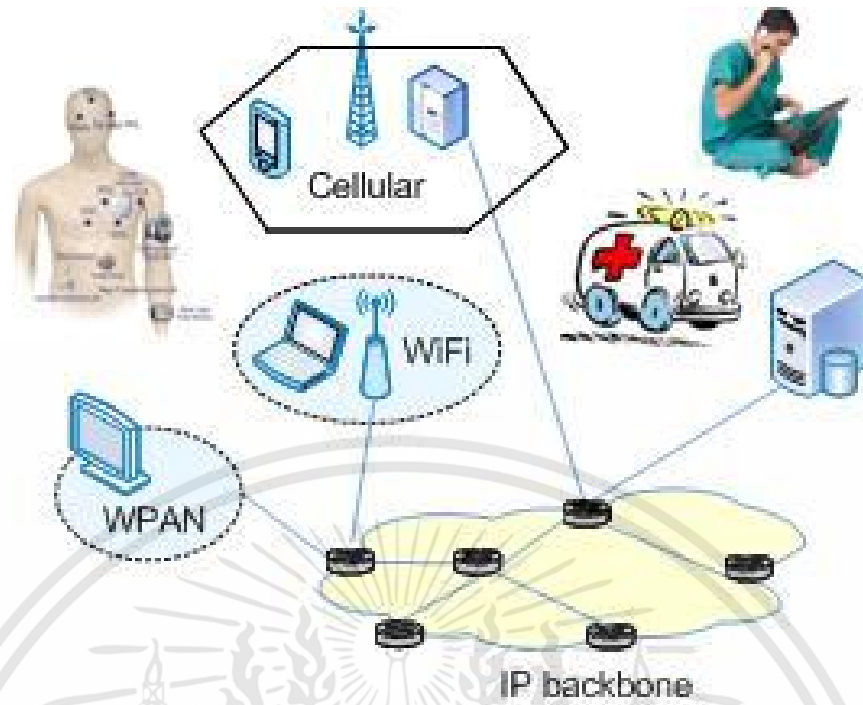
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำให้รู้ถึงพื้นฐานการวิจัย และการวิเคราะห์สัญญาณการส่งผ่านแถบกว้างได้การศึกษาถึงคุณลักษณะของช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งในกรณีที่มีผลจากร่างกายมนุษย์ โดยการประยุกต์ใช้สูตรของฟรีส สำหรับสื่อสารแถบกว้างยิ่งได้ใช้สัญญาณรูปคลื่นในการส่งผ่าน ส่วนทางด้านเครื่องรับใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์เพื่อความเหมาะสมและมีความเป็นไปได้ที่สามารถสร้างขึ้นได้จริง ในการวิเคราะห์ โดยใช้คลื่นสัญญาณที่ส่งเป็นแบบแถบกว้างยิ่ง ตามข้อกำหนดของ FCC และได้ทำการทดลองวิจัยในห้องไร้การสะท้อนแล้ว การทดลองวิจัยในอนาคต จะพิจารณาวัดจริงในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร และโครงข่ายภายในบ้านพักอาศัย ตลอดจนวิธีการวิเคราะห์แบบใหม่ที่มีความเหมาะสมที่สุดทั้งในย่านความถี่แถบกว้าง และแถบแคบ

ในงานวิจัยในอนาคตจะได้ประยุกต์เอางานวิจัยที่ศึกษาวิจัยไปพัฒนาในแนวทางอื่น ๆ เช่น ระบบแถบกว้างยิ่งสำหรับการประยุกต์ใช้บนโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ และในทางการแพทย์ไร้สาย ระบบแถบกว้างยิ่งสำหรับการประยุกต์ใช้โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ และระบบอุปกรณ์การวัดสัญญาณแถบกว้างไร้สายระยะสั้นสำหรับทางการแพทย์ เป็นต้น

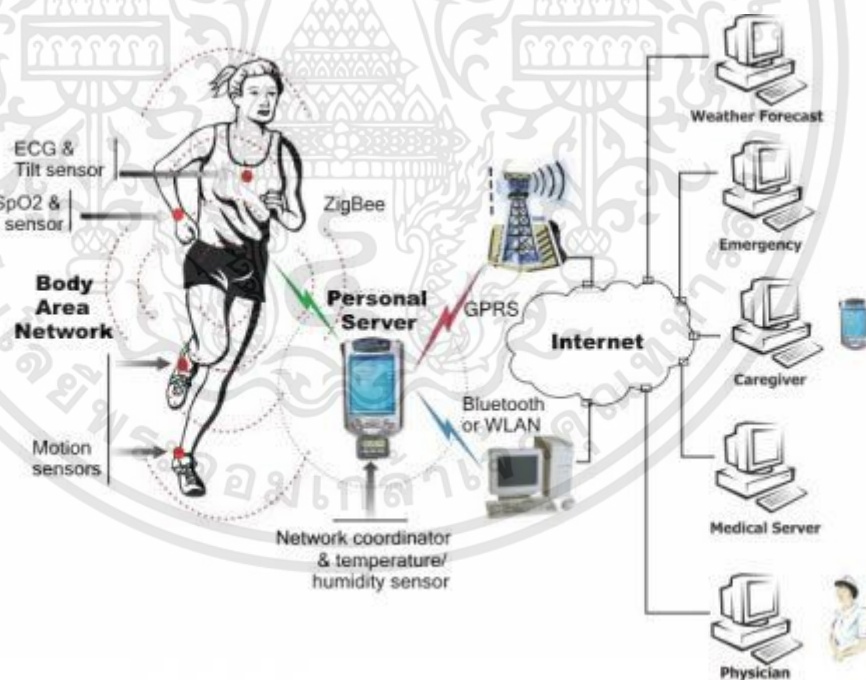


รูปที่ 6.1 ระบบแถบกว้างยิ่งสำหรับการประยุกต์ใช้โครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ [18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.2 ระบบแลบกว้างยิ่งสำหรับการประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ไร้สาย [18]



รูปที่ 6.3 ระบบแลบกว้างยิ่งสำหรับการประยุกต์ใช้โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ [19]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. P. Pagani, F. Talom, P. Pajusco, B. Uguen, "Ultra WideBand Radio Propagation Channels," John Wiley & Sons, 2008.
2. C. Heidari, "WiMedia UWB Technology of Choice for Wireless USB and Bluetooth," John Wiley & Sons, 2008.
3. Online reference: <http://www.fcc.gov/oet/info/rules>.
4. K. Siwiak, "Ultra-wideband radio: A new pan and positioning technology," IEEE Vehicular Technology Society News, pp. 4-9, February 2002
5. K. Siwiak, P. Withington and S. Phelan, "Ultra-wideband radio: The emergency of an important new technology," IEEE Vehicular Technology Conference, VTC-Spring, vol. 2, no. 53, pp. 1169-1172, 2001.
6. K. Siwiak, "Ultra-wideband radio: Introducing a new technology," IEEE Vehicular Technology Conference, VTC-Spring, vol. 2, no. 53, pp. 1088-1093, 2001.
7. FCC, "Revision of Part 15 the Commission's Rules Regarding Ultra-wideband Transmission Systems," ET Docket, 2002.
8. J. H. Reed et. al. "An Introduction to Ultra Wideband Communication Systems," Prentice Hall, 2005.
9. S. Hongson et al., "On the spectral and power requirements for UWB transmission," ICC 2003, vol. 1, May 2003, pp. 738-742.
10. I. Oppermann, M. Hamalainen and J. Linatti, "UWB Theory and Applications," John Wiley & Sons, 2004.
11. ETSI, "Harmonised Standards Covering Ultrawide Band (UWB) Applications," Standardisation Mandate: DG ENTR/G/3M/329, Brussels, Feb. 2003.
12. ETSI, "ECC Decision of 24 March 2006 on The Harmonised Conditions for Devices Using Ultra-Wideband (UWB) Technology in Bands below 10.6 GHz," Doc. ECC/DEC/(06)04, Mar. 2006.
13. MIC, "Japan's "UWB emission policy advances," EE Times, Washington, 26 Aug. 2005.
14. W. Hirt and M. Weisenhorn, "Overview and implications of the emerging global UWB radio regulatory frameworks," 2006 IEEE International Conference on Ultra-Wideband, pp. 581-586, Sept. 2006.
15. J. Farserotu, A. Hutter, F. Platbrood, J. Gerrits and A. Pollini, "UWB Transmission and MIMO Antenna Systems for Nomadic User and Mobile PAN," Wireless Personal Communications, no. 22, pp. 197-317, 2002.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

16. L. D. Nardis and M. D. Benedetto, "Overview of the IEEE 802.15.4/4a standards for low data rate wireless personal data networks," 4th Workshop on Positioning, Navigation and Communication (WPNC), pp. 285-289, 2007.
17. K. S. Kwak, S. Ullah and N. Ullah, "An overview of IEEE 802.15.6 standard," 2010 3rd International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies (ISABEL), pp. 1-6, 2010.
18. Y. Park and F. Adachi, "Enhanced Radio Access Technologies for Next Generation Mobile Communication," Springer, 2007.
19. H.T. Friis, "A note on a simple transmission formula," Proc. IRE, vol. 34, no. 5, pp. 254-256, May 1946.
20. United States of America, "Path loss calculations for ultra-wideband signals in indoor environments," ITU-R Document 3K/30-E, pp. 1-14, Nov. 2003.
21. 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.
22. H. G. Schantz, "Dispersion and UWB antennas," Proc. 2004 Int. Workshop Ultra Wideband Syst./Conf. Ultra Wideband Syst. Tech. (joint UWBST & IWUWBS 2004), Kyoto, Japan, May 2004.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลงานวิจัยที่ได้นำเสนอในการประชุมวิชาการนานาชาติ

- [1] P. Promsrisawat, A. Jala, S. Promwong, “A Study of HB-UWB Transfer Function Model for Wireless Body Area Network,” 2017 International Conference on Digital, Ark Multimedia, and Technology (ICDAMT 2017), pp. 424-429, Nov. 2017.



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายพิชยนันท์ พรหมศรีสวัสดิ์
วัน เดือน ปีเกิด	3 สิงหาคม พ.ศ. 2533
ที่อยู่	55 ซอยประวิทย์และเพื่อน 8/2 แขวงบางจาก เขตพระโขนง กรุงเทพมหานคร 10260
ประวัติการศึกษา	2555 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณนบุรี
ประวัติการทำงาน	2560 – ปัจจุบัน ผู้จัดการโครงการ บริษัท มายด์ คราฟต์ จำกัด 2560 ผู้จัดการโครงการ บริษัท อพาร์ เทคโนโลยี จำกัด 2559 วิศวกรโครงข่าย บริษัท แอมเน็กซ์ จำกัด 2556 – 2559 วิศวกรโครงข่าย บริษัท ทีที แอนด์ ที จำกัด (มหาชน)
ความชำนาญ	1.) ระบบโทรคมนาคม 2.) เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง 3.) การสื่อสารไร้สายบนร่างกายมนุษย์