การประเมินประสิทธิภาพของฟังก์ชันการถ่ายโอนแถบกว้างยิ่งผ่านร่างกายมนุษย์สำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์

PERFORMANCE EVALUATION OF UWB-HB TRANSFER FUNCTION FOR WIRELESS BODY AREA NETWORK

อดิเทพ ชัยสังข์

ADITEP CHAISANG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL-2023-EN-D-018-064

PERFORMANCE EVALUATION OF UWB-HB TRANSFER FUNCTION FOR WIRELESS BODY AREA NETWORK

ADITEP CHAISANG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
DOCTOR OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2023

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL-2023-EN-D-018-064

COPYRIGHT 2023

SCHOOL OF ENGINEERING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินประสิทธิภาพของฟังก์ชันการถ่ายโอนแถบกว้างยิ่งผ่านร่างกายมนุษย์สำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์
นักศึกษา	นายอดิเทพ ชัยสังข์
รหัสนักศึกษา	60601187
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมวิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2566
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.สถาพร พรหมวงศ์

บทคัดย่อ

การสื่อสารไร้สายระยะใกล้และโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์เป็นเรื่องที่น่าสนใจในปัจจุบันนี้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอแบบแผนการประเมินประสิทธิภาพของฟังก์ชันการถ่ายโอนแถบกว้างยิ่งผ่านร่างกายมนุษย์ สำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ โดยได้ออกแบบการทดลองวัดฟังก์ชันการถ่ายโอนแถบกว้างยิ่งที่ช่วงความถี่ 3 จิกะเฮิรตซ์ถึง 11 จิกะเฮิรตซ์ และประกอบด้วยร่างกายมนุษย์ที่สายอากาศด้านรับ ได้ใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ในการวัดและบันทึกผล ใช้สายอากาศแถบกว้างทางด้านส่งเป็นสายอากาศกรวยคู่และสายอากาศทางด้านรับเป็นสายอากาศเส้นตัวนำกลางคตเคี้ยวในการประเมินผลการวัด นำผลที่ได้จากการวัดมาประเมินผลตามขั้นตอนแบบแผนบนพื้นฐานสูตรการส่งผ่านของฟรีส และเครื่องรับแบบแมตช์เพื่อให้สัญญาณรูปคลื่นเหมาะสมที่สุดโดยได้เปรียบเทียบระหว่างกรณีที่มีร่างกายมนุษย์และกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์ ได้พิจารณาพารามิเตอร์ฟังก์ชันการถ่ายโอนทั้งขนาดและเฟส ภาพตัดข้างการประวิงกำลังงาน และอัตราขยายในการส่งผ่านแถบกว้างยิ่ง ในการศึกษาวิจัยนี้มีองค์ความรู้คุณลักษณะช่องสัญญาณการส่งผ่านแถบกว้างยิ่งที่มีผลกระทบที่เกิดจากร่างกายมนุษย์ ภาพตัดข้างการประวิงเวลา อัตราขยายในการส่งผ่านแถบกว้างยิ่งทำให้เห็นถึงความเพี้ยนของสัญญาณรูปคลื่น แบบแผนวิจัยที่ได้เสนอนี้มีประโยชน์อย่างมากต่อการพัฒนาด้านการออกแบบ วิเคราะห์และการประเมินผลสำหรับระบบการสื่อสารไร้สายแถบกว้างยิ่งบนร่างกายมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Performance Evaluation of UWB-HB Transfer Function for Wireless Body Area Network
Student	Mr. Aditep Chaisang
Student ID.	60601187
Degree	Doctor of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2023
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Sathaporn Promwong

ABSTRACT

Short-range wireless communications and wireless networks on the human body have garnered significant interest, particularly in the context of Wireless Body Area Networks (WBANs). This thesis presents a performance evaluation scheme for the Ultra-Wideband Human Body (UWB-HB) transfer function in WBANs. Experimental measurements were conducted within the frequency range of 3 to 11 GHz, incorporating the human body as an integral part of the receiving antenna. Using a vector network analyzer, the measurements captured the UWB-HB transfer function by employing two wideband antennas, a biconical antenna for the transmitter antenna and a meander line antenna for the receiver antenna. The obtained results were analyzed using the Friis' transmission formula and matched filter for optimizing the waveform, carefully considering both magnitude and phase transfer function parameters compared with a human body and without human body cases. The evaluation encompassed power delay profile and transmission gain characteristics in the ultra-wideband, providing insights into the influence of the human body on the transmission waveform. Additionally, the study revealed that wideband transmission introduced waveform distortion. The proposed research scheme offers a valuable tool for designing, developing, and evaluating UWB-HB.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีด้วยคำแนะนำ ชี้แนะแนวทางในการแก้ปัญหาและคอยดูแลตลอดระยะเวลาที่ทำวิทยานิพนธ์นี้จาก ผศ.ดร.สถาพร พรหมวงศ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำ และคอยชี้แนะแนวทางเกี่ยวกับโครงงานวิจัยอย่างดีมาโดยตลอด ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ โดยมี รศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ รศ.ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี รศ.ดร.ชนินทร์ บุญลักษณานุสรณ์ รศ.ดร.นรเศรษฐ พัฒนเดช และ ศ.ดร.ชูวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำและทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากขึ้น

ขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ในห้องปฏิบัติการวิจัยวิจัย UWBRS ทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจให้มาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่คอยเป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุก ๆ ด้านมาโดยตลอด ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

อดิเทพ ชัยสังข์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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..... 3
1.5 ขอบเขตการศึกษา..... 4
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา..... 5

บทที่ 2 เทคโนโลยีโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์..... 6
2.1 กล่าวนำ..... 6
2.1.1 โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์และการตรวจสอบสุขภาพทางการแพทย์.. 7
2.1.2 การประยุกต์ใช้งาน..... 8
2.2 ประวัติความเป็นมาของระบบแถบกว้างยิ่ง..... 11
2.3 เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง..... 12
2.3.1 ข้อดีของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง..... 12
2.4 กฎข้อบังคับการทำงานของระบบแถบกว้างยิ่ง..... 13
2.4.1 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา..... 14
2.4.2 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในยุโรป..... 16
2.4.3 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในประเทศญี่ปุ่น..... 20
2.4.4 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในประเทศเกาหลี..... 21
2.4.5 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในประเทศจีน..... 22
2.5 การประยุกต์และการนำระบบแถบกว้างยิ่งไปใช้งาน..... 23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5.1 การประยุกต์ใช้งานเครือข่ายภายในอาคารสำนักงาน 23
2.5.2 การประยุกต์ใช้งานเครือข่ายภายในที่พักอาศัย 24
2.5.3 การประยุกต์เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งสำหรับโครงข่ายไร้สาย
บนร่างกายมนุษย์..... 24
2.5.4 การประยุกต์ใช้งานในการค้นหาตำแหน่ง 25
2.6 บทสรุป 25

บทที่ 3 หลักการประเมินผลช่องสัญญาณการส่งผ่านแถบกว้างยิ่ง..... 26
3.1 กล่าวนำ..... 26
3.2 ฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณ..... 26
3.2.1 ผลตอบสนองความถี่ช่องสัญญาณ..... 26
3.2.2 ผลตอบสนองอิมพัลส์ช่องสัญญาณ..... 27
3.3 แบบแผนการประเมินผลช่องสัญญาณการส่งผ่านสำหรับระบบแถบกว้างยิ่ง..... 28
3.3.1 หลักการสูตรส่งผ่านของฟรีส..... 29
3.3.2 เครื่องรับแบบแมตช์บนพื้นฐานสูตรการส่งผ่านของฟรีส..... 31
3.3.3 อัตราขยายบนพื้นฐานสูตรการส่งผ่านของฟรีส..... 32
3.4 การสูญเสียเชิงวิถี..... 32
3.5 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน..... 33
3.6 บทสรุป..... 35

บทที่ 4 ขั้นตอนการวิจัยถึงผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ 36
4.1 กล่าวนำ..... 36
4.2 รูปแบบจำลองในการวัด..... 36
4.2.1 การจำลองส่งของสัญญาณรูปคลื่นและสเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่ง.... 38
4.3 สายอากาศที่ใช้ในการทดลอง..... 39
4.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง..... 42
4.5 บทสรุป..... 42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 ผลการวิจัยและวิเคราะห์สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง..... 43

5.1 กล่าวนำ..... 43

5.2 การประเมินผลการวัด..... 43

5.2.1 แบบแผนการทดลองวัดฟังก์ชันการถ่ายโอนแถบกว้างยิ่ง..... 43

5.2.2 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ..... 46

5.2.3 อัตราการขยายสัญญาณในการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่ง..... 48

5.3 บทสรุป 49

บทที่ 6 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 กล่าวนำ..... 50

6.2 สรุปผลของการศึกษาทดลองวิจัย..... 50

6.2.1 การวิเคราะห์ช่องสัญญาณการส่งผ่านกรณีไม่มีผลกระทบจากร่างกายมนุษย์..... 50

6.2.2 การวิเคราะห์ช่องสัญญาณส่งผ่านในกรณีมีผลกระทบจากร่างกายมนุษย์..... 50

6.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการวิจัยในอนาคต..... 51

เอกสารอ้างอิง..... 54

ภาคผนวก บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวิทยานิพนธ์..... 56

ประวัติผู้เขียน 80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงานโดยคณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาสำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร..... 16
2.2 กำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิกในแต่ละระบบ..... 18
2.3 การลดการรบกวนที่กำลังส่งออกอากาศแบบไอโซทรอปิกสูงสุดที่ -41.3 dBm ต่อเมกะเฮิรตซ์..... 18
2.4 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร..... 19
4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัด..... 42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1.1 การเชื่อมต่อโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์..... 2
1.2 แบบแผนของการจำลองส่งผ่านสำหรับระบบแถบกว้างยิ่ง..... 4
2.1 เปรียบเทียบช่วงการสื่อสารของเทคโนโลยีไร้สาย..... 7
2.2 การพัฒนาระบบควบคุมการดูแลทางการแพทย์..... 8
2.3 โครงข่ายไร้สายบนร่างมนุษย์สำหรับผู้พิการทางสายตาตรวจหาสัมภาระต่าง ๆ..... 9
2.4 โครงข่ายไร้สายบนร่างมนุษย์สำหรับผู้พิการทางสายตาค้นหาด้วยกล้องวีดีโอ..... 10
2.5 โครงข่ายไร้สายบนร่างมนุษย์สำหรับเต้นตามจังหวะดนตรีและเสียงเพลงร่วมกัน..... 10
2.6 การเปรียบเทียบระดับกำลังงานความหนาแน่นระหว่างแถบแคบอื่น ๆ และ เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง..... 12
2.7 หน้ากากสเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งกำหนดโดย FCC..... 16
2.8 หน้ากากสเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งกำหนดโดย EU..... 17
2.9 หน้ากากสเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคารกำหนดโดย FCC..... 19
2.10 หน้ากากสเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งภายนอกอาคารกำหนดโดย FCC..... 20
2.11 ข้อจำกัดสเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งของประเทศญี่ปุ่น..... 21
2.12 ข้อจำกัดสเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งของประเทศเกาหลี..... 22
2.13 ข้อจำกัดสเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งของประเทศจีน..... 23
2.14 เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งสำหรับโครงข่ายไร้สายระหว่างรถยนต์และโทรศัพท์มือถือ..... 23
2.15 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งสำหรับโครงข่ายบ้านพักอาศัย..... 24
2.16 เทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งประยุกต์ใช้สำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์..... 24
2.17 เทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งสำหรับการหาตำแหน่ง..... 25
3.1 การวิเคราะห์ระบบเชิงเส้น..... 26
3.2 ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของระบบในโดเมนความถี่..... 27
3.3 ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของระบบในโดเมนเวลา..... 28
3.4 บล็อกไดอะแกรมของการวิเคราะห์การส่งผ่านสำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างการมนุษย์..... 29
3.5 การสื่อสารไร้สายในอวกาศว่างด้วยสูตรการส่งผ่านของฟรีส..... 29
3.6 ภาพตัดข้างการประวิงกำลังงาน..... 34
4.1 การจัดเตรียมอุปกรณ์การวัดในห้องไร้การสะท้อน..... 37
4.2 การปรับหมุนสายอากาศทางด้านรับ 0 ถึง 360 องศา ในมุมมองจากด้านบน..... 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.3 รูปคลื่นสัญญาณส่งของระบบแถบกว้างยิ่ง..... 38
4.4 สเปคตรัมสัญญาณส่งของระบบแถบกว้างยิ่ง..... 39
4.5 โครงสร้างและขนาดของสายอากาศแบบกรวยคู่ (Biconical antenna)..... 40
4.6 สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ $|S_{11}|$คุณสมบัติของสายอากาศแบบกรวยคู่..... 40
4.7 สายอากาศแบบเส้นตัวนำกลางคตเคี้ยว (Meander line antenna)..... 41
4.8 สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ $|S_{11}|$ ของคุณสมบัติสายอากาศแบบเส้นตัวนำกลางคตเคี้ยว..... 41
5.1 ขนาดฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์..... 44
5.2 เฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์..... 45
5.3 ขนาดฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณที่มีร่างกายมนุษย์..... 45
5.4 เฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณที่มีร่างกายมนุษย์..... 46
5.5 ภาพตัดข้างการประวิงกำลังงานที่ไม่มีร่างกายมนุษย์..... 47
5.6 ภาพตัดข้างการประวิงกำลังงานที่มีร่างกายมนุษย์..... 47
5.7 อัตราขยายของการส่งผ่านช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งในกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์..... 48
5.8 อัตราขยายของการส่งผ่านช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งในกรณีมีร่างกายมนุษย์..... 49
6.1 ระบบแถบกว้างยิ่งสำหรับการประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ไร้สาย..... 51
6.2 การใช้แคบซูลที่สามารถเพิ่มใบพัดและประสิทธิภาพการควบคุมผ่านคันบังคับ..... 52
6.3 เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งสำหรับการประยุกต์ใช้ในการหาตำแหน่งบนร่างกายมนุษย์..... 52
6.4 การเชื่อมโยงโครงข่ายมัลติมิเดียไร้สายระยะสั้น..... 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

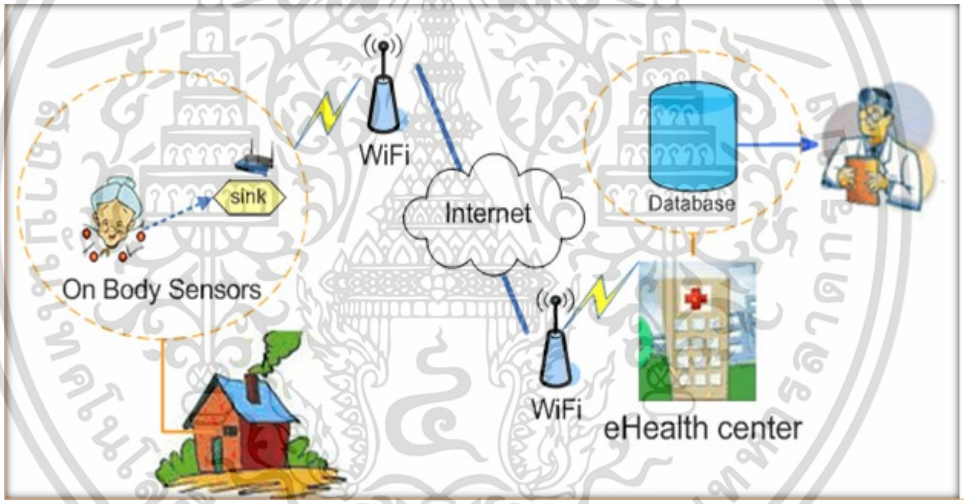
เทคโนโลยีของการสื่อสารแบบไร้สายในปัจจุบันได้ถูกพัฒนาอย่างรวดเร็วและได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันอย่างมากมายเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความสะดวกรวดเร็วในการติดต่อสื่อสารเช่นการสื่อสารส่วนบุคคล โครงข่ายการสื่อสารระยะใกล้ระหว่างสถานีฐานและอุปกรณ์ภายในอาคารสำนักงาน บ้านพักอาศัย ผู้ใช้เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายเหล่านี้ต้องการอัตราการส่งข้อมูลที่สูง เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ได้อย่างสมบูรณ์และมีประสิทธิภาพสูงสุดจึงได้มีการนำเอาเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายมาพัฒนาใช้บนร่างกายมนุษย์ด้วยแถบกว้างยิ่ง (Ultra-wideband human body) เข้ามาใช้งานอื่น ๆอีกมากมาย ด้วยสิ่งจำเป็นที่ควรทราบโดยเฉพาะอย่างยิ่งความจุช่องสัญญาณมากซึ่งเป็นคุณลักษณะเด่นและเป็นหัวใจสำคัญที่ทำให้สามารถส่งข้อมูลได้ปริมาณมาก รวมถึงยังทนทานต่อการถูกตรวจจับสัญญาณ มีการรบกวนต่อสัญญาณระบบต่ำ และยังมีความสามารถในการวัดความแตกต่างของระยะทางได้อย่างแม่นยำ มีการใช้กำลังงานที่ต่ำ เครื่องรับส่งสัญญาณมีความซับซ้อนต่ำ ทำให้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการสื่อสารเชิงพาณิชย์โดยเฉพาะในระบบการสื่อสารไร้สายระยะใกล้ประสิทธิภาพสูง

ในระบบการสื่อสารไร้สายระยะใกล้แบบแถบกว้างยิ่งนับว่าเป็นวิวัฒนาการของระบบการสื่อสารไร้สายมาตรฐานใหม่ โดยมีการแถบความถี่กว้างและมีการส่งข้อมูลมากประกอบกับใช้กำลังในการส่งที่ต่ำ สัญญาณรูปคลื่นในการส่งผ่านที่แคบมาก ๆแต่แถบกว้างมาก [1] อยู่ในระดับนาโนต่อวินาที (nano second: ns) ที่มีคุณลักษณะใกล้เคียงกับสัญญาณในอุดมคติที่เรียกว่ารูปคลื่นอิมพัลส์ (Impulse waveform) โดยจะไม่มีการนำสัญญาณข้อมูลไปทำการมอดูเลตกับคลื่นพาห์ สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งจะใช้แบนวิดท์ในการส่งมากกว่าหรือเท่ากับ 20% ของแถบความถี่กลาง หรือมีการใช้แถบความถี่มากกว่า 500 MHz ซึ่งพบว่ามีค่ามากกว่าแถบความถี่ของระบบการสื่อสารไร้สายที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำเอาเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานกับระบบเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล (Wireless personal area network: WPAN) ซึ่งถูกกำหนดให้อยู่ในมาตรฐานของ IEEE 802.15.3a สำหรับอัตราส่งข้อมูลได้สูง และ IEEE 802.16.4 สำหรับส่งข้อมูลต่ำ [2] โดยเป็นลักษณะการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล เครื่องพิมพ์เอกสาร เครื่องสแกนเนอร์ กล้องถ่ายรูปดิจิทัล กล้องถ่ายวิดีโอ อื่น ๆโดยสามารถรองรับอัตราการส่งข้อมูลที่สูงกว่า 110 Mb/s ในระยะทาง 10 เมตร และมีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงขึ้นถึง 480 Mb/s ในระยะประมาณ 2 เมตร [3] และโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ (Wireless body area network: WBAN) เทคโนโลยีเหล่านี้ทำงานผ่าใต้ข้อกำหนดของคณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Federal communication commission : FCC) เพื่อไม่ให้รบกวนกับระบบสื่อสารอื่น ๆระดับความแรงของสัญญาณมีค่าไม่เกิน -41 dBm/MHz หรือไม่เกินชั้นของสัญญาณรบกวน [1]

เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งได้พัฒนามาจากระบบเรดาร์ และพัฒนามาใช้ในระบบการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ภายในอาคาร สัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากสายอากาศ อาจมีความผิดเพี้ยนรูปคลื่น (Waveform distortion) และจากสภาวะแวดล้อม เช่น ผนัง กำแพง หน้าต่าง วัสดุอุปกรณ์เครื่องใช้ต่าง ๆ นอกจากนี้ยังมีอีกปัจจัยหนึ่งที่สามารถส่งผลต่อช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งได้เช่นกัน เช่น ร่างกายมนุษย์ ซึ่งเป็นเรื่องที่ควารสนใจยิ่งเพราะมีความเป็นไปได้ที่ร่างกายมนุษย์มีผลกระทบต่อช่องสัญญาณส่งผ่านหรือการบดบังเส้นทางการเดินทางของคลื่น และหากนำเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งมาใช้ในการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์โครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ไปยังเครื่องมือวัด อาจมีปัจจัยหลายอย่างที่ส่งผลกระทบ เช่นจากสภาวะแวดล้อม และจากร่างกายมนุษย์ ดังแสดงในรูปที่ 1.1 ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นที่ต้องศึกษาวิจัยและตรวจสอบผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ที่มีต่อช่องสัญญาณการส่งผ่าน และโครงสร้างของสายอากาศสำหรับการสื่อสารไร้สายระยะใกล้แบบแถบกว้างยิ่ง



รูปที่ 1.1 การเชื่อมต่อโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ [4]

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ในงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ที่มีต่อช่องสัญญาณการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่ง บนพื้นฐานการส่งผ่านของฟรีส โดยได้พิจารณารูปคลื่นที่ใช้ส่งผ่านและเครื่องรับแบบแมตช์ (Match receiver) ได้ใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ (Vector network analyzer: VNA) เป็นอุปกรณ์หลักในการวัดและและใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ (Biconical antenna) เป็นสายอากาศส่ง (Tx-antenna) และสายอากาศแบบเส้นตัวนำกลางคตเคี้ยว (Meander line antenna) เป็นสายอากาศด้านรับ (Rx-antenna) สำหรับการส่งผ่านของระบบแถบกว้างยิ่ง ภายในห้องไร้การสะท้อนของคลื่น (Anechoic chamber) ดังวัตถุประสงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เพื่อศึกษาเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง ข้อกำหนดและการประยุกต์ใช้งาน

2. เพื่อศึกษาทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์บนพื้นฐานสูตรการส่งผ่านของฟรีส (Friis' transmission formula) และการประยุกต์สูตรของฟรีสให้มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับระบบการส่งผ่านแถบกว้างยิ่ง

3. เพื่อนำเสนอเครื่องรับแบบแมตช์ (Matched filter Received) ที่มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับระบบแถบกว้างยิ่งโดยการแมตช์ด้วยสัญญาณ และเครื่องรับแบบแมตช์ไอโซทรอปิก (Match filter Isotropic) และจะได้ค่าอัตราส่วนของกำลังสัญญาณต่อกำลังสัญญาณรบกวนสูงสุด

4. พิจารณาใช้สายอากาศแบบแถบกว้างสองชนิดด้วยกันในการประเมินผลการวัดหรือการทดสอบการส่งผ่านแถบกว้างยิ่งคือสายอากาศแบบกรวยคู่และสายอากาศแบบเส้นตัวนำกลางคตเคี้ยว

5. เพื่อทำการวิเคราะห์และประเมินผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพของช่องสัญญาณการส่งผ่านแถบกว้างยิ่ง โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์และกรณีมีร่างกายมนุษย์

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

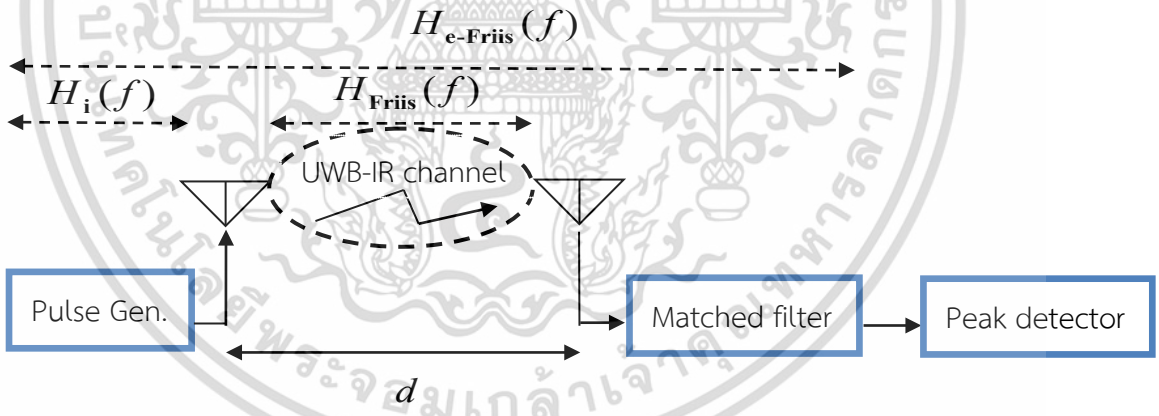
เนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้ทำการพิจารณาผลที่เกิดขึ้นจากร่างกายมนุษย์ที่มีต่อช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งบนพื้นฐานของการวัด ในขั้นตอนของการวัดภายในห้องไร้การสะท้อนของคลื่นนั้นเป็นการกำหนดตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับสภาวะแวดล้อมรอบข้าง ความสูงของสายอากาศ และระยะทางระหว่างสายอากาศให้คงที่ เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภายช่องสัญญาณกรณีมีไม่ร่างกายมนุษย์และกรณีมีร่างกายมนุษย์แต่เพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตามต้องมีการปรับเทียบเพื่อลดผลของการสูญเสียที่เกิดจากสายส่งสัญญาณและคอนเนคเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง แต่ก็ได้ถูกชดเชยโดยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ทำให้ผลที่เกิดขึ้นไม่กระทบต่อผลการวัดมากนัก โดยนำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญบนพื้นฐานสูตรการส่งผ่านของฟรีสและทางด้านรับได้ใช้เครื่องรับแบบแมตช์สองแบบมาเปรียบเทียบกันระหว่างเครื่องรับแบบแมตช์และเครื่องรับแบบแมตช์ไอโซทรอปิกเพื่อพิจารณาช่องสัญญาณการส่งผ่านแถบกว้างยิ่ง ผลจากการวิจัยสามารถนำมาทำการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้เหมาะสมกับการใช้งาน และประยุกต์ใช้งานกับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์และระบบไร้สายทางด้านการแพทย์ เป็นต้น โดยได้แสดงรายละเอียดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ไว้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาถึงผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ที่มีต่อคุณลักษณะของช่องสัญญาณคลื่นวิทยุแบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งพิจารณาบนพื้นฐานของการวัดโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวคเตอร์ โดยใช้สายอากาศแบบกรวยคู่เป็นสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศเชิงพานิชย์ที่มีขนาดเล็ก ซึ่งพัฒนาขึ้นโดยบริษัท Skycross ในสหรัฐอเมริกา [5] โดยพิจารณาเปรียบเทียบที่ด้านรับโดยใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ และเครื่องรับแบบไอโซทรอปิก ดังรูปที่ 1.2 โดยทำการวัดตลอดช่วงความถี่ตั้งแต่ 3 จิกะเฮิรตซ์ ถึง 11 จิกะเฮิรตซ์ ครอบคลุมช่วงความถี่ที่กำหนดให้ใช้งานในการสื่อสารคือตั้งแต่ 3.1 จิกะเฮิรตซ์ ถึง 10.6 จิกะเฮิรตซ์ ซึ่งถูกกำหนดโดยคณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา [6] โดยในการวัดได้จำลองและกำหนดลักษณะวิธีการวัดอยู่ 2 แบบคือ กรณีที่มีร่างกายมนุษย์และกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์เพื่อเปรียบเทียบถึงผลที่เกิดขึ้นต่อช่องสัญญาณ อีกทั้งยังทำการทดสอบในกรณีที่สายอากาศทางด้านรับมีการเปลี่ยนแปลงมุมโดยได้ปรับจากมุม 0 องศา ถึง 360 องศา โดยเคลื่อนที่ครั้งละ 5 องศา โดยลักษณะวิธีการวัดที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนี้กำหนดขึ้นเพื่อเป็นการทดสอบผลกระทบที่สามารถเกิดขึ้นในกรณีที่นำไปใช้งานจริง และนำผลที่ได้จากการวัดมาประเมินผลด้วยการเลียนแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อหาผลการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่เกิดขึ้นว่ามีการผิดเพี้ยนไปหรือไม่อย่างไร แล้วทำการประเมินผลที่ได้จากการวิจัยและการวิเคราะห์ โดยได้มีการประยุกต์การส่งผ่านของฟรีส (Extention Friis' transmission formula) เพื่อนำมาประเมินผลในระบบการส่งผ่านสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง การเปรียบเทียบผลระหว่างกรณีการวัดที่มีผลจากร่างกายมนุษย์และไม่มีผลจากร่างกายมนุษย์ จะทำให้สามารถสังเกตเห็นผลกระทบที่เกิดขึ้นจากร่างกายมนุษย์ได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่เกิดการบดบังของร่างกายอย่างสมบูรณ์นั้นจะเกิดการเปลี่ยนของพารามิเตอร์ต่าง ๆ มากกว่ากรณีอื่น ๆ ซึ่งจะแสดงให้เห็นในบทต่อไป



รูปที่ 1.2 แบบแผนของการจำลองส่งผ่านสำหรับระบบแถบกว้างยิ่ง

1.5 ขอบเขตการศึกษา

วิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาผลกระทบของร่างกายมนุษย์ที่มีต่อช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งในขั้นตอนของการวัดภายในห้องไร้การสะท้อนของคลื่นได้ทำการกำหนดตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับสภาวะแวดล้อม ความสูงของสายอากาศ ระยะทางระหว่างสายอากาศทั้งสององค์ประกอบให้คงที่เพื่อนำผลที่ได้จากการวัดมาทำการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญบนทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่งผ่านของฟรีส จากนั้นได้ทำการศึกษาและประเมินค่าประสิทธิภาพของสัญญาณและรูปคลื่นสัญญาณพัลส์ทางด้านรับ โดยใช้เครื่องรับแบบแมตช์สองแบบมาเปรียบเทียบกันระหว่างเครื่องรับแบบแมตช์สัญญาณที่รับได้และเครื่องรับแบบแมตช์ไอโซทรอปิก เพื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณในกรณีที่มีผลและไม่มีผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ ซึ่งจะพิจารณาคุณสมบัติของขนาดและเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอน ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ และอัตราการขยายสัญญาณ ผลจากการวิจัยสามารถนำมาทำการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้เหมาะสมกับการใช้งาน และประยุกต์ใช้งานกับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์

1.6 ขั้นตอนการศึกษา

จากแนวคิดและหลักการที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น สามารถสรุปเป็นขั้นตอนการศึกษาสำหรับวิทยานิพนธ์นี้เป็น 6 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงบทนำ ซึ่งประกอบไปด้วยความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมติฐานของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย ขอบเขตและขั้นตอนการวิจัย

บทที่ 2 กล่าวถึงเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายบนร่างกายมนุษย์แบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งประกอบด้วยบทนำ ประวัติความเป็นมาของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง การสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง ข้อบังคับของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งและบทสรุป

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการประเมินผลในการส่งผ่านของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งประกอบไปด้วยบทนำ ฟังก์ชันการถ่ายโอนสัญญาณผ่านร่างกายมนุษย์แถบกว้างยิ่ง การประวิงกำลังงาน อัตราการขยายในการส่งผ่านแถบกว้างยิ่งด้วยหลักการพื้นฐานสูตรการส่งผ่านของฟรีส อัตราความผิดพลาดบิต และบทสรุป

บทที่ 4 กล่าวถึงขั้นตอนของการเตรียมการทดลองวิจัย และแบบจำลองการวัดจริงของช่องสัญญาณการส่งผ่านแถบกว้างการที่กรณีไม่มีร่างกายมนุษย์และกรณีที่มีร่างกายมนุษย์ และแบบจำลองรูปคลื่นสัญญาณส่ง อุปกรณ์และพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวิจัย และบทสรุป

บทที่ 5 นำเสนอผลการทดลองวิจัยและทำการประเมินผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพการส่งผ่านแถบกว้างยิ่งในกรณีที่มีร่างกายมนุษย์และไม่มีร่างกายมนุษย์ โดยประเมินผลเปรียบเทียบบนพื้นฐานสูตรการส่งผ่านของฟรีส

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะแนวทางการวิจัยในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
เทคโนโลยีโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์

2.1 กล่าวนำ

โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ (Wireless Body Area Network: WBAN) ได้ถูกกล่าวถึงครั้งแรกในส่วนของโครงข่ายส่วนบุคคล (Personal Area network: PAN) และ Zimmermann ได้รับการยกย่องในการสร้างสรรค์แนวคิดเรื่องโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ โดยมีพื้นฐานจากงานของเขาที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งแมสซาชูเซตส์ (MIT) และที่ บริษัทไอบีเอ็มได้พูดถึงการรวมกันของอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่มีขนาดเล็ก และการเชื่อมต่อการสื่อสารไร้สายระยะสั้น การเชื่อมต่อนั้นถูกสร้างขึ้นผ่านการติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ใกล้เคียงน้อยกว่า 2 เมตร ในปี ค.ศ. 2004 โครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ ได้อธิบายสภาพแวดล้อมรวมถึงบริเวณที่ใกล้ที่สุดซึ่งก็คือส่วนหนึ่งของร่างกายมนุษย์

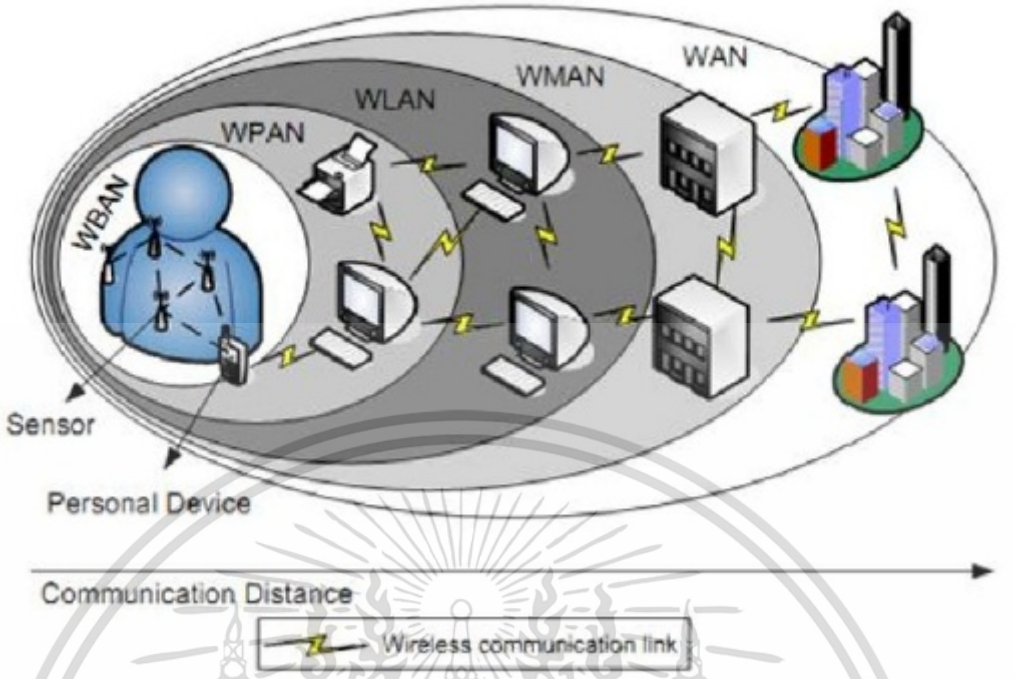
กลุ่มทำงานเฉพาะ 15.6 (TG6) ของคณะกรรมการจาก IEEE ซึ่งมีชื่ออย่างเป็นทางการว่า IEEE 802 Local and Metropolitan Area Network Standard Committee ได้กำหนดมาตรฐานของโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ไร้สาย

รูปที่ 2.1 แสดงขอบเขตของระบบการสื่อสารไร้สายอื่น ๆ โดยจะเห็นว่าโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ไร้สายได้นำเสนอวิธีการของการสื่อสารระยะสั้นเพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่อยู่รอบ ๆ ร่างกายมนุษย์โดยคำนึงถึงความปลอดภัยของร่างกายด้วย โดยสามารถนำมาใช้กับการสื่อสารทางการแพทย์ การดูแลสุขภาพ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในร่างกายมนุษย์

เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายบนร่างกายมนุษย์ และเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล มีเทคโนโลยีและแนวคิดที่ใกล้เคียงกัน แต่อย่างไรก็ตามยังคงมีส่วนที่แตกต่างกันเช่น อุปกรณ์ของสื่อสารไร้สายบนร่างกายมนุษย์ สามารถอยู่บนร่างกายหรือภายในร่างกายมนุษย์ได้โดยมีความปลอดภัยกับอวัยวะและชิ้นส่วนของร่างกายมนุษย์ ในส่วนของช่องสัญญาณของสื่อสารไร้สายบนร่างกายมนุษย์ ได้ถูกนำเสนอด้วยคุณลักษณะที่แตกต่างกับ การสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล เนื้อเยื่อของร่างกายมนุษย์ที่เป็นตัวกลางซึ่งประกอบไปด้วยไขมัน น้ำ ทำให้การแพร่กระจายถูกลดทอนเร็วกว่าในอวกาศว่าง และรูปแบบของสายอากาศอาจมีผลกระทบจากร่างกายมนุษย์

ในการพัฒนาได้ก้าวหน้าทางเทคโนโลยีล่าสุดมีการใช้ระบบไฟฟ้าสื่อสารที่มีขนาดเล็ก ใช้พลังงานต่ำ และใช้งานในระบบไร้สายอย่างไรก็ตามวิศวกร หรือนักออกแบบต้องเผชิญกับงานที่ท้าทายความสามารถในการสร้างหรือออกแบบอุปกรณ์ เช่น ต้องอยู่ในกฎระเบียบข้อบังคับ รูปแบบช่องสัญญาณ การใช้พลังงานที่ต่ำ ผลกระทบของอุณหภูมิ สายอากาศและการสูญเสียบนร่างกายมนุษย์ การสื่อสารที่มีประสิทธิภาพ อัตราการส่งข้อมูลที่เหมาะสม และมีความน่าเชื่อถือที่สูงมาก ในเป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 เปรียบเทียบช่วงการสื่อสารของเทคโนโลยีไร้สาย [21]

2.1.1 โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์และการตรวจสอบสุขภาพทางการแพทย์

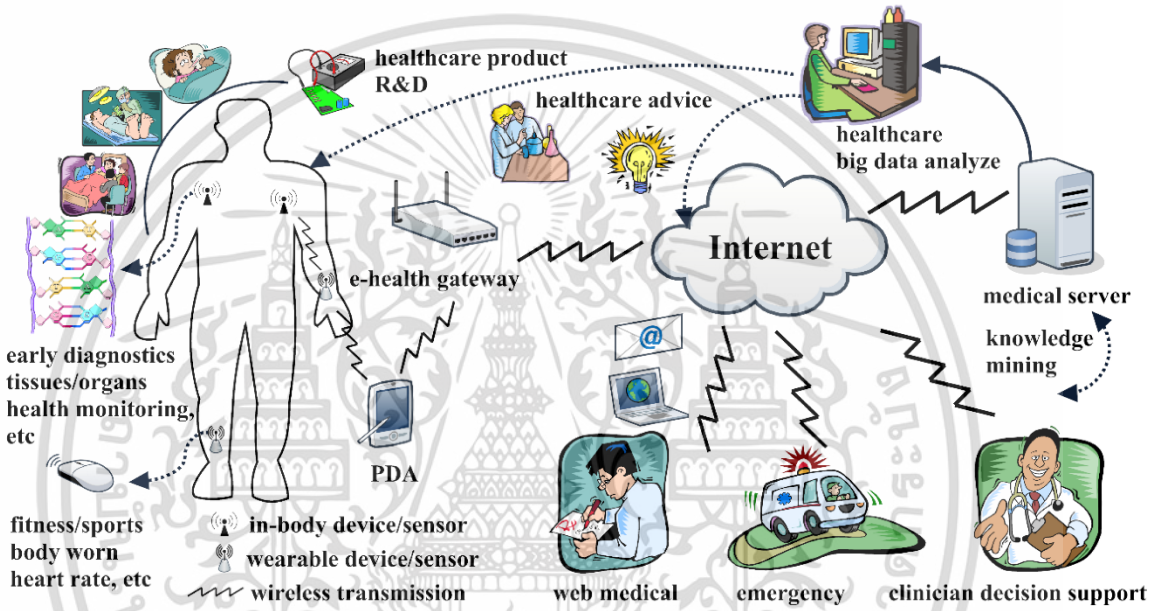
ปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้งานโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ถูกพัฒนามาใช้สำหรับการรักษาดูแลสุขภาพ การตรวจวัดสมรรถนะของร่างกาย การติดตามเฝ้าดูอาการผู้ป่วย โดยจะมีการติดตั้งเซนเซอร์ตำแหน่งต่าง ๆ ของร่างกายมนุษย์ โดยที่อุปกรณ์ดังกล่าวสามารถส่งสัญญาณข้อมูลกลับมายังผู้ใช้งาน หรือแพทย์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์อาการ หรือเฝ้าระวังอาการของผู้ป่วย เพื่อป้องกันและทำให้สามารถตรวจพบโรคได้ก่อน

ระยะเวลาในสองสามปีที่ผ่านมามีการเพิ่มจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดสุขภาพ ตรวจสอบรูปคลื่น ตรวจสอบสิ่งผิดปกติต่างๆที่เกิดขึ้น การตรวจวิเคราะห์หัวใจคลื่นไฟฟ้าแบบพกพาที่มีการใช้เซนเซอร์ที่มีราคาแพงและซับซ้อน ถึงแม้จะได้รับการยอมรับในวงกว้างในระบบปัจจุบันก็ตาม แต่ยังคงถูกจำกัดด้วยราคาสูง และการใช้งานร่วมกับเทคโนโลยีอื่น ๆ

ในการตรวจสอบทางการแพทย์ส่วนบุคคลมีการใช้เพื่อเก็บข้อมูลเพียงอย่าวเดียว ส่วนการประมวลผลและการวิเคราะห์นั้นถูกดำเนินการแบบออฟไลน์ ทำให้อุปกรณ์ใช้งานได้ไม่ต่อเนื่องและอาจทำให้มีความผิดปกติในการตรวจสอบทางการแพทย์ ระบบที่ประกอบไปด้วยเซนเซอร์จำนวนมากเพื่อใช้ในการฟื้นฟูสภาพร่างกายมีการเชื่อมต่อสายไฟระหว่างตัวเซนเซอร์กับระบบตรวจสอบ สายไฟดังกล่าวอาจทำให้ผู้ป่วยไม่สามารถทำกิจกรรมบางอย่างได้อย่างสะดวกสบาย ส่งผลทำให้มีผลกระทบกับข้อมูลที่วัดได้ และเหตุผลนี้เองทำให้มีการสร้างระบบตรวจสอบสุขภาพร่างกายแบบไร้สายซึ่งใช้ในระบบโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิวัฒนาการความก้าวหน้าทางการแพทย์และการประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับการดูแลสุขภาพได้ถูกสำเสนอในรูปที่ 2.2 จากรูปขั้นตอนที่ 1 ข้อมูลสุขภาพร่างกายถูกรวบรวมด้วยการใช้เซนเซอร์หลายตัวที่ถูกติดอยู่ตามส่วนต่างๆที่สำคัญของร่างกาย โดยที่ข้อมูลดังกล่าวจะถูกส่งไปยังหน่วยคำสั่ง ขั้นตอนที่ 2 เมื่อหน่วยคำสั่งได้รับข้อมูลจากส่วนแรกมาแล้ว จะทำการตัดสินใจในการหาวิธีรักษาหรือการใช้ยาที่เหมาะสม โดยจะส่งคำสั่งไปยังหน่วยดำเนินการ ขั้นตอนที่ 3 หน่วยดำเนินการจะทำการรักษาหรือให้ยาผู้ป่วย เมื่อทำการรักษาหรือให้ยาเสร็จสิ้น เซนเซอร์จะรวบรวมข้อมูลการดูแลสุขภาพที่สำคัญ เพื่อนำไปเข้ากระบวนการอื่นต่อไป



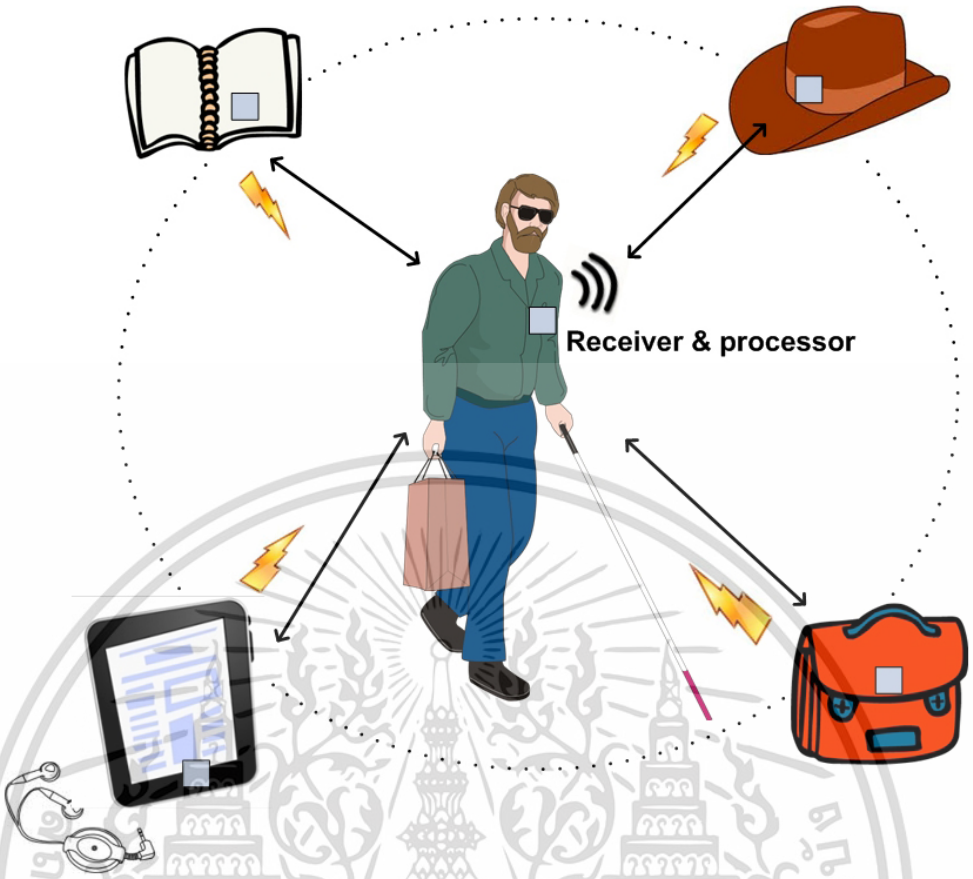
รูปที่ 2.2 การพัฒนาระบบควบคุมการดูแลทางการแพทย์ [21]

แรงบันดาลใจในทางการแพทย์เป็นการช่วยชีวิต และพัฒนาทางด้านการแพทย์ให้มีการตรวจวินิจฉัยโรค และรักษาได้รวดเร็วขึ้นโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ สามารถใช้เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการให้ความช่วยเหลือทางการแพทย์ จุดประสงค์หลักของการบริการดูแลสุขภาพผู้ป่วยที่บ้าน คือการพัฒนาคุณภาพชีวิตและเพิ่มความเป็นอิสระของผู้ป่วยโดยการรักษาที่บ้าน และการดูแลผู้ป่วยที่บ้านรวมถึงสภาพแวดล้อม จะถูกแทนที่การรักษาที่แพงของโรงพยาบาล

2.1.2 การประยุกต์ใช้งาน

มีการประยุกต์ใช้มากมายและมีการใช้รูปแบบที่ช่วยให้มีความสะดวกสบายมากขึ้นโดยการใช้โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ รูปที่ 2.3 แสดงถึงการประยุกต์ใช้งานในการช่วยเหลือผู้ที่มีความพิการทางสายตา เครื่องมือตรวจวัดได้ถูกติดกับสิ่งของต่าง ๆ ของผู้ที่มีความพิการทางสายตา จากนั้นต้องมีการกำหนดค่าเริ่มต้นของระยะห่างของเครื่องมือตรวจวัดกับเครื่องรับสัญญาณ หากผู้พิการทางสายตาลืมสิ่งของไว้หรืออยู่ห่างจากค่าที่ได้กำหนดไว้ เครื่องรับสัญญาณจะส่งสัญญาณเตือน

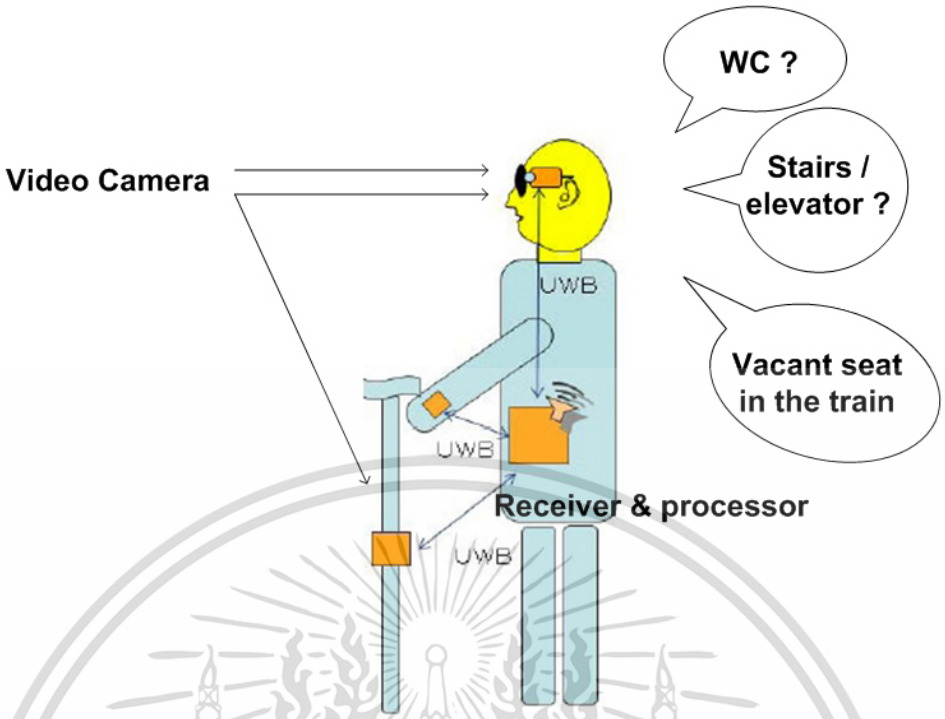
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 โครงข่ายไร้สายบนร่างมนุษย์สำหรับผู้พิการทางสายตาตรวจหาสัมภาระต่าง ๆ [21]

อีกทั้งได้มีการพัฒนาให้มีกล้องที่ติดกับผู้พิการทางสายตา เช่น แว่นตา หรือไม้เท้า ภาพวีดิโอได้ถ่ายโดยกล้องและถูกส่งไปยังเครื่องรับที่ติดอยู่ที่ผู้พิการทางสายตา โดยภาพที่ถ่ายได้จะถูกแปลงให้เป็นเสียง เพื่อนำทางให้กับผู้พิการทางสายตา ดังรูปที่ 2.4 หลักการที่คล้ายคลึงกันสามารถนำมาใช ช่วยเหลือผู้พิการด้านการพูด โดยใช้เซนเซอร์ที่ติดที่มือ เพื่อหาการเคลื่อนไหวของมือ โดยข้อมูลที่ได้รับจากเซนเซอร์จะถูกเปลี่ยนให้เป็นเสียงพูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 โครงข่ายไร้สายบนร่างมนุษย์สำหรับผู้พิการทางสายตาค้นหาด้วยกล้องวีดีโอ [21]

สำหรับใช้ร่างกายเป็นศูนย์กลาง ส่วนที่ติดต่อกับผู้ที่ใช้งาน เช่น หูฟังไร้สาย วีดีโอสตรีมมิ่ง การควบคุมเกมส์ด้วยเซนเซอร์ ข้อมูลความบันเทิงต่าง ๆ การประยุกต์ใช้โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ ไม่เพียงแต่เพิ่มความสะดวดสบายที่ไม่มีการใช้สายเข้ามาเกี่ยวข้องแต่ยังให้วิธีการแบ่งปันข้อมูล ยกตัวอย่างเช่น ผู้ใช้งานสองคนหรือมากกว่าสามารถใช้เครื่องเล่นดนตรี หรือวิดีโอ ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 2.5

รูปที่ 2.5 โครงข่ายไร้สายบนร่างมนุษย์สำหรับเต้นตามจังหวะดนตรีและเสียงเพลงร่วมกัน [21]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ประวัติของการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง [7]

เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง มีประวัติย้อนหลังมายาวนานตั้งแต่สมัยที่ มาร์โคนี (Marconi) ได้ทดลองสาธิตโดยใช้เครื่องรับ-ส่งเป็นแบบสปาร์คแก๊ป (Spark gap) ในการส่งสัญญาณวิทยุแบบอิมพัลส์ข้ามหาสมุทรแอตแลนติกในปี ค.ศ. 1901 ต่อมาในปี ค.ศ. 1962 ได้ประดิษฐ์เครื่องส่งวิทยุแถบกว้างยิ่งโดยใช้หลักการส่งผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในโดเมนทางเวลา และได้ถูกนำไปใช้ในการส่งสัญญาณในเครือข่ายไมโครเวฟในปี ค.ศ. 1963 - 1966 ซึ่งมีการแนวทางในการพัฒนาว่าต้องมีรูปแบบที่ง่ายและไม่ซับซ้อน โดยใช้คุณลักษณะของการตอบสนองความถี่ เช่น ขนาดของสัญญาณและเฟส ซึ่งระบบจะทำงานวิเคราะห์ความแตกต่างของผลตอบสนองของสัญญาณจากฟังก์ชันในการส่งผ่านสัญญาณ h(t) ในส่วนของสัญญาณเอาต์พุตจะถูกแทนด้วย y(t) และกำหนดให้สัญญาณ อินพุตที่ป้อนเข้าเป็น x(t) ซึ่งเท่าให้สามารถวิเคราะห์คุณลักษณะของช่องสัญญาณได้ โดยได้ใช้เครื่อง ออสซิโลสโคปในการสุ่มค่าของสัญญาณ เพื่อมาทำการวิเคราะห์และพัฒนาเครือข่ายในระบบไมโครเวฟและรูปแบบของสัญญาณที่ใช้ในการส่งผ่าน

เทคนิคในการวัดค่าสัญญาณนั้นแรกเริ่มได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับแถบความถี่กว้างในปี ค.ศ. 1968 ซึ่งทำให้เกิดการพัฒนาสัญญาณที่มีขนาดแคบได้อย่างรวดเร็ว และได้ถูกนำไปใช้ในการส่งสัญญาณติดต่อสื่อสารแบบ เรดาร์ ในปี ค.ศ. 1972 และในปีถัดมาเครื่องออสซิโลสโคป ที่ใช้การวิเคราะห์ ความถี่ที่สูงขึ้นก็ได้ถูกสร้างขึ้น จึงทำให้มีการกำหนดแถบความถี่กว้างยิ่งในปี ค.ศ.1973 ต่อมาในปี ค.ศ. 1980 นั้นก็ได้มีการกำหนดให้ เทคโนโลยี แถบความถี่กว้างยิ่งนี้ไม่จำเป็นต้องใช้คลื่นพาหะ ในการส่งสัญญาณเหมือนอย่างแถบความถี่กว้างอีกต่อไป และเป็นจุดที่แตกต่างจากการส่งคลื่นวิทยุแบบอื่นที่มีมาก่อนหน้านั้น และต่อมาได้มีการพัฒนาในประเทศสหรัฐอเมริกาต่อในปี ค.ศ. 1989

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

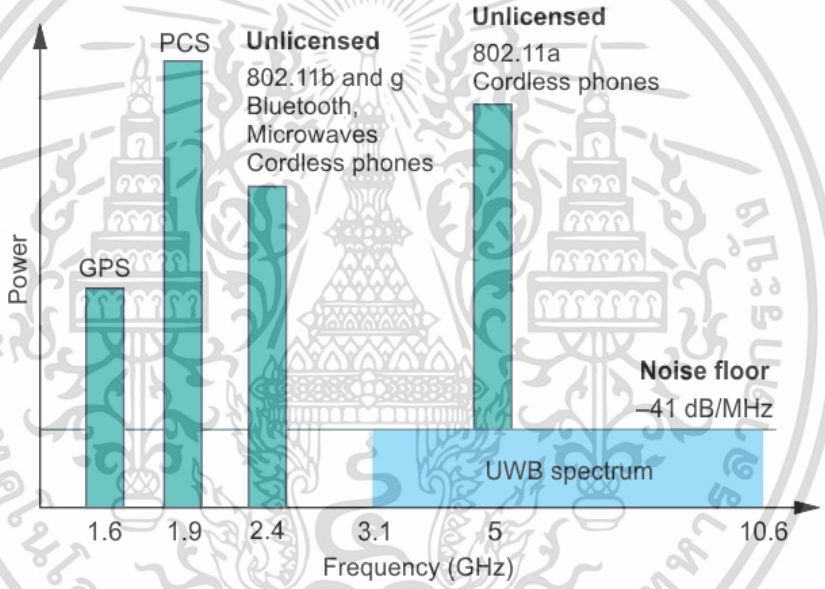
ในปี ค.ศ. 1994 เทคโนโลยีแถบความถี่กว้างยิ่งได้ถูกพัฒนาเพื่อใช้ในระบบการติดต่อสื่อสารอย่างรวดเร็วโดยรัฐบาลสหรัฐอเมริกา จนปี ค.ศ. 1998 ได้มีการเริ่มพิจารณามาตรฐานและข้อกำหนด

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง

ระบบแถบกว้างยิ่งเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่แตกต่างจากการสื่อสารทางคลื่นความถี่วิทยุแบบอื่น ๆ โดยจุดเด่นของระบบแบบแถบกว้างยิ่งคือ เป็นระบบสื่อสารที่ไม่ต้องใช้คลื่นพาหะเหมือนในระบบอื่น สัญญาณของระบบแบบกว้างยิ่งเป็นสัญญาณคลื่นวิทยุแบบอิมพัลส์ (Impulse radio) โดยเป็นพัลส์ที่มีขนาดแคบขนาดประมาณ 0.2 นาโนวินาที จึงทำให้มีความหนาแน่นแถบความถี่ (Spectral density) ที่กว้างมาก ดังนั้นจึงแผ่กระจายครอบคลุมช่วงความถี่ได้กว้างในระดับจิกะเฮิรตซ์ และระบบนี้มีแบนด์วิดท์ที่กว้างมากจึงทำให้สามารถที่จะรองรับอัตราการส่งข้อมูลได้สูงถึง 110 Mb/s ในระยะทางประมาณ 10 เมตร และเนื่องจากสัญญาณพัลส์ที่ใช้มีขนาดที่แคบมากจึงทำให้ช่วงใช้งาน (Duty cycle) มีค่าต่ำจึงทำให้ระบบมีการใช้กำลังที่ต่ำลงไปด้วยในรูปที่ 2.6 แสดงให้เห็นถึงระดับความหนาแน่นแถบกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่งโดยเปรียบเทียบกับระบบอื่น ๆ



รูปที่ 2.6 การเปรียบเทียบระดับกำลังงานความหนาแน่นระหว่างแถบแคบอื่น ๆ และเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง [2]

2.3.1 ข้อดีของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง

ระบบแถบกว้างยิ่งเป็นระบบที่มีข้อได้เปรียบที่น่าสนใจสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบสื่อสารหลากหลายประเภทเช่น

- กำลังงานในการส่งต่ำ

จากข้อกำหนดโดยคณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาได้กำหนดให้กำลังงานในการส่งนั้นมีค่าสูงสุดไม่เกิน -41.3 dBm ทำให้มีการแพร่กระจายกำลังงานในระดับต่ำประมาณระดับของสัญญาณระบบกวน (noise floor) จึงทำให้ระบบอื่นมองว่าสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนี้คือสัญญาณรบกวน เลยถูกกำจัดออกจากการพิจารณาของระบบ ทำให้ไม่มีผลกระทบกับระบบอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีอัตราการส่งข้อมูลสูง

ในระบบแถบความถี่กว้างยิ่งนั้นมีการส่งข้อมูลด้วยความถี่ในย่าน 3.1 จิกะเฮิรตซ์ ถึง 10.6 จิกะเฮิรตซ์ 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 นั่นหมายถึง ระบบคลื่นวิทยุแบบแถบกว้างยิ่งมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถควบคุมจังหวะและคำนวณเวลาได้อย่างถูกต้องแม่นยำมากกว่าระบบดาวเทียมบอกพิกัด (Global positioning system: GPS) และระบบคลื่นวิทยุแบบอื่น ๆ อีกทั้งด้วยคุณสมบัติในการทะลุผ่านวัสดุได้ดีจึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งที่มีการมอดูเลตทางเวลาถูกนำมาใช้งานในระบบเรดาร์ระยะสั้น เช่นในการช่วยเหลือชีวิตและปฏิบัติการป้องกันอาชญากรรมต่าง ๆทั้งภายในและภายนอกอาคาร เช่นเดียวกับการใช้ในงานสำรวจและในอุตสาหกรรมการทำเหมืองในระยะใกล้

- มีระดับของสัญญาณใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวน (Noise)

เนื่องจากความหนาแน่นของพลังงานต่ำและลักษณะเฉพาะในการสุ่มเทียบ (Pseudo – random) ของสัญญาณส่งจึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนี้มีลักษณะคล้ายกับสัญญาณรบกวนซึ่งทำให้การตรวจหาสัญญาณทำได้ยากและยังปรากฏในเอกสารทางการวิจัยว่าการส่งสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนั้นไม่ก่อให้เกิดผลการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบคลื่นความถี่วิทยุอื่น ๆ เนื่องจากสัญญาณของระบบแถบกว้างยิ่งนั้นมีการแพร่กระจายกำลังงานในระดับต่ำโดยอยู่ในระดับของสัญญาณระบบกวน (Noise floor) จึงทำให้ระบบอื่นมองว่าสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนี้คือสัญญาณรบกวนเลยถูกกำจัดออกจากพิจารณาของระบบ

2.4 กฎข้อบังคับการทำงานของระบบแถบกว้างยิ่ง

โครงข่ายการสื่อสารไร้สายได้ถูกกำหนดการใช้งานคลื่นวิทยุ และคลื่นความถี่ ตามกฎข้อบังคับของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ ที่ดูแลเกี่ยวกับการบริหารคลื่นความถี่ (ITU-R) และในแต่ละประเทศจะมีองค์กรที่จัดการเรื่องกฎข้อบังคับต่างๆ เช่น คณะกรรมาธิการการสื่อสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แห่งสหรัฐอเมริกา Federal (Communications Commission: FCC) คณะกรรมาธิการยุโรป (European Commission: EC) กระทรวงอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสารสนเทศ (Ministry of Industry and Information Technology : MIIT) ของประเทศจีน กระทรวงการปกครองและการสื่อสารภายในประเทศ (Ministry of Internal Affairs and Communications: MIC) ของประเทศญี่ปุ่น

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

ด้วยใช้งานในช่วงที่จำกัดของโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ที่บริเวณรอบ ๆร่างกาย และความต้องการของเทคโนโลยีไร้สายระยะใกล้ โดยมีการใช้ระดับรังสีที่ต่ำและมีการใช้พลังงานที่ต่ำ และเทคโนโลยีที่สามารถใช้งานร่วมกับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ที่น่าสนใจมีดังนี้ เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายแถบกว้างยิ่ง (UWB) โครงข่ายไร้สายส่วนบุคคล (WPAN) ที่ใช้แถบความถี่ ISM (industrial, scientific and medical) โดยความถี่ที่สามารถใช้งานร่วมกับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์โดยได้กำหนดในแถบความถี่ MICS (medical implant communication service) และ Wireless Medical Telemetry Service (WTMS)

ข้อกำหนดที่สำคัญได้ถูกกำหนดขึ้นมาใช้ในการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งคือ การจัดสรรความถี่ในการใช้งานเพื่อไม่ให้เกิดการรบกวนกันกับระบบเดิมที่ใช้อยู่ ซึ่งในแต่ละประเทศได้มีการกำหนดกฎข้อบังคับในการใช้งานของระบบแถบกว้างยิ่งตามความเหมาะสมของกิจการโทรคมนาคมของประเทศนั้นๆ เช่นญี่ปุ่น เกาหลี จีน และอีกหลายๆประเทศที่กำลังพัฒนาระบบการสื่อสาร ซึ่งในสหรัฐอเมริกามีกลุ่มทำงานที่ชื่อว่า “Ultra-Wideband Working Group (UWBWG)” ได้พยายามทำการถอดถอนการจำกัดของข้อกำหนดในการใช้งานช่วงความถี่ของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งจากกฎข้อบังคับเดิมของคณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาเพื่อทำการเจรจาหาข้อตกลงร่วมกันเช่นเดียวกับในยุโรปก็ได้มีการหาข้อตกลงการจัดสรรคลื่นความถี่และการแทรกสอดของความถี่วิทยุซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีการกำหนดแถบความถี่สำหรับการใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่งในสถาบันกำหนด สหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International telecommunication union; ITU)

2.4.1 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความปลอดภัยในการบิน ระบบสื่อสารในเรือ และทิศทางในการหาตำแหน่งด้วยระบบแถบกว้างยิ่งได้เช่นกัน

เมื่อเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งได้ถูกเสนอสำหรับการนำมาใช้ในกิจการการสื่อสารของพลเรือน ซึ่งยังไม่ได้มีการกำหนดใดๆ สำหรับลักษณะสัญญาณที่จะนำมาใช้ จึงได้มีหน่วยงานหนึ่งที่ชื่อว่า DARPA (Defense Advanced Research Project Agency) ได้ทำการออกข้อกำหนดฉบับที่หนึ่งสำหรับสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งซึ่งอยู่บนพื้นฐานอัตราส่วนแบนด์วิดท์ B_{f} ของสัญญาณโดยต้องมีค่ามากกว่า 20% ของแถบความถี่กลาง หรือมีการใช้แถบความถี่มากกว่าหรือเท่ากับ 500 เมกะเฮิรตซ์ โดยสามารถกำหนดได้ตามสมการที่ 2.1 [8]

$$B_{\mathrm{f}} = 2\frac{f_{\mathrm{H}} - f_{\mathrm{L}}}{f_{\mathrm{H}} + f_{\mathrm{L}}} \tag{2.1}$$

เมื่อ f_{L} คือ ความถี่ต่ำสุดและ f_{H} คือความถี่สูงสุดของแถบความถี่ที่ใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่ง

ในเดือนกุมภาพันธ์ ปี ค.ศ. 2002 FCC ได้ออกกฎสำหรับระบบแถบกว้างยิ่งซึ่งเป็นการกำหนดขอบเขตของการแพร่กระจายกำลังงานฉบับที่หนึ่งสำหรับระบบแถบกว้างยิ่ง และยังอนุญาตให้เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในลักษณะทางการค้าอีกด้วย โดยรายงานล่าสุดของคำประกาศและระเบียบการฉบับที่หนึ่งได้เผยแพร่ต่อสาธารณในเดือนเมษายน ปี ค.ศ. 2002 ซึ่งในเอกสารได้กล่าวถึงการอนุญาตใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่งและการกำหนดขอบเขตการแพร่กระจายพลังงานสำหรับการใช้ในประเภทต่าง ๆ โดยจากนิยามข้างต้นได้ทำการลดค่าการจำกัด B_{f} ไว้ ไม่ให้ต่ำกว่า 0.20 ตามสมการที่ 2.1 และข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC ได้แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.1 สำหรับใช้ในการสื่อสารข้อมูลทั้งภายในและภายนอกอาคาร

กำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิก (Equivalent Isotropically Radiated Power: E.I.R.P.) สำหรับเครื่องส่งของการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งจะถูกกำหนดค่าความหนาแน่นสเปคตรัมกำลังงานโดย

การสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งจะมีการใช้งานภายในอาคารหรือบนมือถือ รูปที่ 2.7 เปรียบเทียบของค่าเฉลี่ยความหนาแน่นสเปคตรัมกำลังงานของการใช้งานภายในอาคารและบนมือถือ จะเห็นได้ว่าค่า

ความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานมีค่าเท่ากันในช่วงความถี่ 3.1 จิกะเฮิรตซ์ ถึง 10.6 จิกะเฮิรตซ์ อย่างไรก็ตามค่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานบนมือถือที่มีค่าน้อยกว่าระดับภายในอาคารอยู่ 10 dB จะอยู่ในช่วงความถี่ 1.61 จิกะเฮิรตซ์ ถึง 3.1 จิกะเฮิรตซ์ และช่วงความถี่มากกว่า 10.6 จิกะเฮิรตซ์

กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกาได้ถูกรวบรวมอยู่ใน ส่วนย่อยของ Part 15 ของกฎหมายรัฐบาลกลาง (Code of Federal Regulations) และอุปกรณ์ของระบบแถบกว้างยิ่งไม่สามารถใช้ในระบบการสื่อสาร และระบบเกมต่าง ๆ เป็นแถบความถี่ต้องห้ามในการใช้งานบนเครื่องบิน ในเรือ และระบบส่งผ่านดาวเทียม

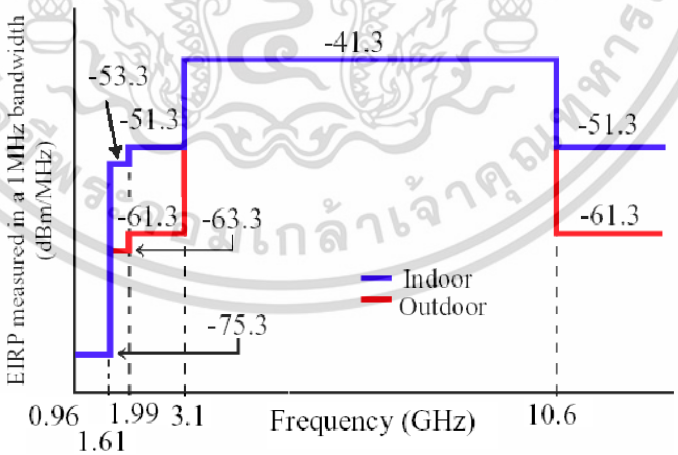
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงานโดยคณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร [8]

ความถี่ [เมกะเฮิรตซ์]	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

2.4.2 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในยุโรป

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

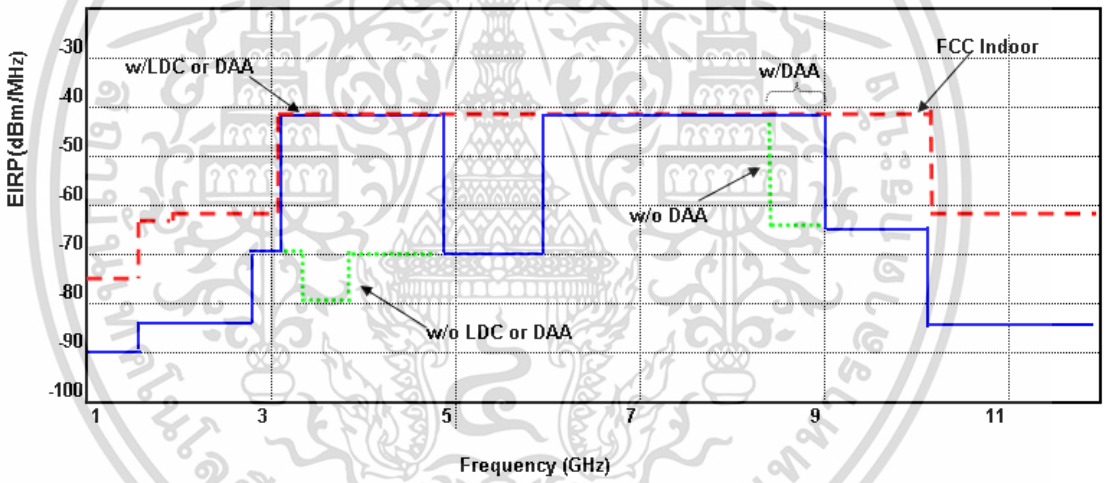


รูปที่ 2.7 หน้ากากสเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งกำหนดโดย FCC [21]

ระบบแถบกว้างยิ่งในยุโรปให้คำนิยามของแบนด์วิดท์ที่แตกต่างกับระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา โดยที่ค่าระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกามีค่าแบนด์วิดท์ต่ำสุดอยู่ที่ 50 เมกะเฮิรตซ์ เช่นเดียวกับระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกาแบนด์วิดท์ที่ใช้ทดสอบ ณ ตำแหน่งที่ต่ำกว่าระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูงสุดของการแพร่กระจายลงมา 10 dB ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานสำหรับการใช้งานภายในอาคารได้ถูกกำหนดไว้ดังรูป 2.8 และที่ระบบแถบกว้างยิ่งที่ความถี่ต่ำ ค่าสูงสุดของกำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิก มีค่า -41.3 dBm ต่อเมกะเฮิรตซ์ โดยสามารถใช้งานได้ในช่วงความถี่ 3.1 - 4.8 จิกะเฮิรตซ์ โดยมีช่วงการใช้งานต่ำ (Low duty cycle :LDC) หรือ Detect-and-avoid (DAA) แต่หากไม่ได้ใช้ LDC หรือ DAA แล้วค่ากำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิกจะอยู่ที่ -70 dBm ต่อเมกะเฮิรตซ์ (-80 dBm ต่อเมกะเฮิรตซ์ ในช่วงความถี่ 3.4 จิกะเฮิรตซ์ ถึง 3.8 จิกะเฮิรตซ์) อย่างไรก็ตามค่า -41.3 dBm ต่อเมกะเฮิรตซ์ สามารถใช้งานในช่วงความถี่ 4.2 จิกะเฮิรตซ์ ถึง 4.8 จิกะเฮิรตซ์ เมื่อไม่มีการใช้ LDC หรือ DAA จนถึงสิ้นปี 2010 ที่ระบบแถบกว้างยิ่งที่ความถี่สูง ค่ากำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิกสูงสุด คือ -41.3 dBm ต่อเมกะเฮิรตซ์ ในช่วงความถี่ 6 จิกะเฮิรตซ์ ถึง 8.5 จิกะเฮิรตซ์ และในช่วงความถี่ 8.5-9จิกะเฮิรตซ์ จะมีค่ากำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิกสูงสุด ที่ -65 dBm ต่อเมกะเฮิรตซ์ การทำ LDC หรือ DAA เป็นวิธีการลดการรบกวนจากอุปกรณ์ของระบบแถบกว้าง กับระบบไร้สายที่มีอยู่



รูปที่ 2.8 หน้ากากสเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งกำหนดโดย EU [21]

กลไกในการตรวจสอบและหลีกเลี่ยงเป็นที่รู้จักและถูกใช้ในระบบแถบกว้างยิ่งที่มีระดับการแพร่กระจายที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับการดำเนินการในแต่ละภาคส่วน 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมกำลังส่ง (Transmit power control: TPC) เป็นวิธีการลดการรบกวนของสหภาพยุโรป สำหรับอุปกรณ์ระบบแถบกว้างยิ่งที่ติดตั้งบนถนนหรือรถไฟสามารถใช้งานกับค่ากำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิกสูงสุดที่ -41.3 dBm ต่อเมกะเฮิรตซ์ ในช่วงความถี่ 3.1 จิกะเฮิรตซ์ ถึง 4.8 จิกะเฮิรตซ์ 6 จิกะเฮิรตซ์ ถึง 8.5 จิกะเฮิรตซ์ และ8.5 จิกะเฮิรตซ์ ถึง 9จิกะเฮิรตซ์ และตารางที่ 2.3 ได้สรุปวิธีที่ใช้ในการลดการรบกวนที่นำไปใช้กับค่ากำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิกสูงสุด ที่-41.3 dBm ต่อเมกะเฮิรตซ์

ปัจจุบันข้อกำหนดระบบแถบกว้างยิ่งในทวีปยุโรปอยู่ในช่วงรอข้อมูลทางเทคนิคที่เกี่ยวกับผลกระทบของระบบแถบกว้างยิ่งบนระบบเดิมที่มีใช้กันอยู่โดยทางยุโรปนั้นบางส่วนของข้อกำหนดจะรัดกุมกว่าของทางสหรัฐอเมริกา เพราะทางด้านยุโรปนั้นในส่วนของเทคโนโลยีใหม่ต้องแสดงให้เห็นว่าส่งผลกระทบน้อยหรือไม่ส่งผลเสียหายต่อระบบเดิมที่มีอยู่ โดยข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานสำหรับการใช้งานทั้งภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย ITU หรือ ETSI แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.2 กำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิกในแต่ละระบบ [21]

ระบบและช่วงความถี่ [จิกะเฮิรตซ์]	**Max. EIRP in Zone1 dBm ต่อเมกะเฮิรตซ์**	**Threshold 1 dBm**	**Max. EIRP in Zone2 dBm ต่อเมกะเฮิรตซ์**	**Threshold 2 dBm**	**Max. EIRP in Zone3 dBm ต่อเมกะเฮิรตซ์**
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 การลดการรบกวนที่กำลังส่งออกอากาศแบบไอโซทรอปิกสูงสุดที่ -41.3 dBm ต่อเมกะเฮิรตซ์ [21]

	ความถี่ (จิกะเฮิรตซ์)		
	3.1 – 4.8	**6-8.5**	**8.5-9**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

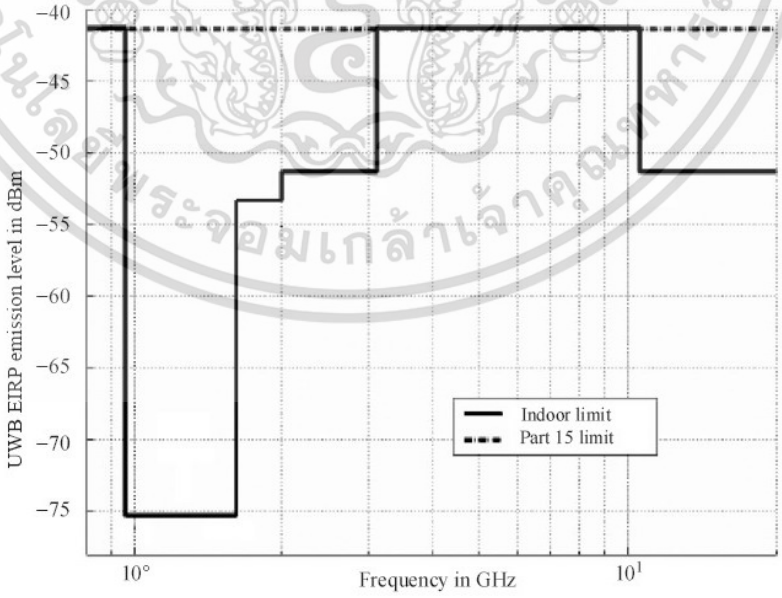
ตารางที่ 2.3 การลดการรบกวนที่กำลังส่งออกอากาศแบบไอโซทรอปิกสูงสุดที่ -41.3 dBm ต่อเมกะเฮิรตซ์ [21] (ต่อ)

การใช้งานภายในอาคาร	LDC or DAA	ไม่จำเป็น	DAA
การใช้งานบนถนนหรือรถไฟ	LDC หรือ DAA+TPC	LDC หรือ TPC	DAA+LDC หรือ DAA +TPC

ตารางที่ 2.4 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร [8]

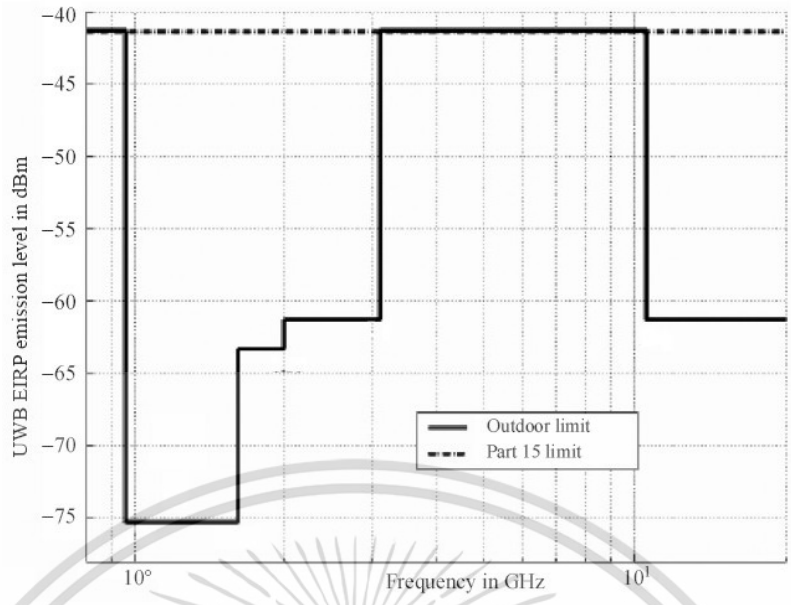
	ช่วงความถี่ [จิกะเฮิรตซ์]		
	$f <$ 3.1	3.1 < f < 10.6	f > 10.6
ภายในอาคาร	-51.3 + 87log(f / 3.1)	-41.3	-51.3 + 87log (10.6 / f)
ภายนอกอาคาร	-61.3 + 87log(f / 3.1)	-41.3	-61.3 + 87log (10.6 / f)

โดยในรูปที่ 2.9 และ 2.10 การเปรียบเทียบข้อจำกัดสเปกตรัมตามของอุปกรณ์การสื่อสารแถบกว้างโดย FCC



รูปที่ 2.9 หน้ากากสเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคารกำหนดโดย FCC [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 หน้ากากสเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งภายนอกอาคารกำหนดโดย FCC [9]

2.4.3 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในประเทศญี่ปุ่น

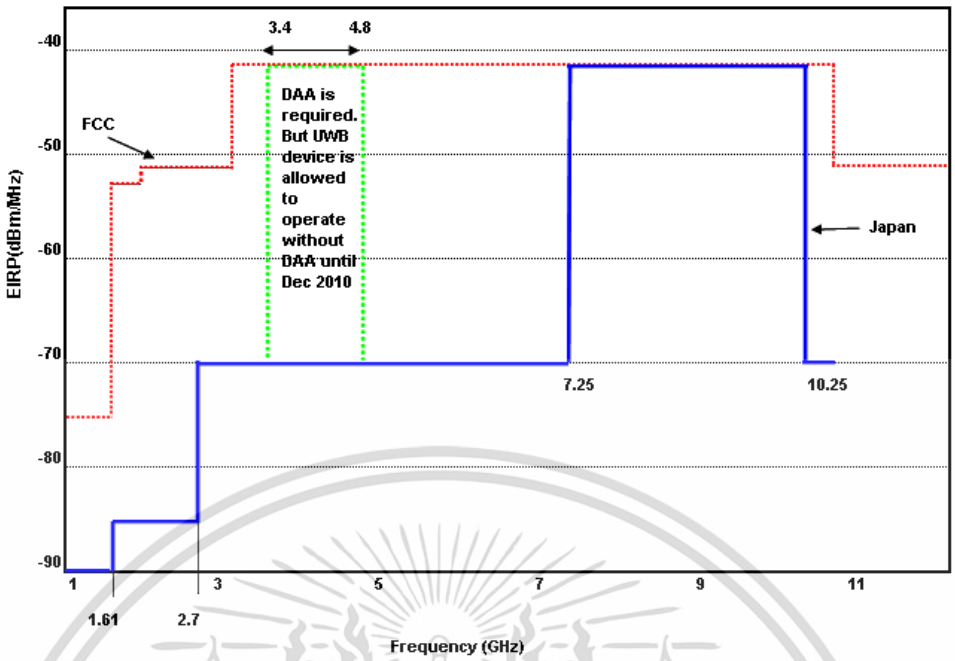
กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งถูกบังคับใช้ในเดือนสิงหาคม 2006 และในรูปที่ 2.11 ได้ทำการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นสเปคตรัมกำลังงานของระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา กับของประเทศญี่ปุ่น ความถี่ที่สามารถใช้งานได้อยู่ในช่วง 3.4 จิกะเฮิรตซ์ ถึง 4.8 จิกะเฮิรตซ์ ในช่วงความถี่ต่ำ และ 7.25 จิกะเฮิรตซ์ ถึง 10.25 จิกะเฮิรตซ์ ในช่วงความถี่สูง ในช่วงความถี่ต่ำวิธีการลดการรบกวนได้ถูกนำมาใช้ ช่วงความถี่ที่ 4.2 จิกะเฮิรตซ์ ถึง 4.8 จิกะเฮิรตซ์ สามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องใช้วิธีการลดการรบกวนจนถึงเดือนธันวาคม 2010 แต่ประเทศญี่ปุ่นได้พิจารณายืดเวลาออกไปจนถึงเดือนธันวาคม 2013 โดยมีบางข้อกำหนดเฉพาะในประเทศญี่ปุ่นดังนี้

- ในการดำเนินการภายในอาคารอุปกรณ์ระบบแถบกว้างยิ่งสามารถเชื่อมต่อกับไฟ AC และอุปกรณ์ระบบแถบกว้างยิ่งที่ไม่ได้ต่อกับไฟ AC จะต้องได้รับอนุญาตให้ปล่อยคลื่นวิทยุหลังจากที่ได้รับสัญญาณจากอุปกรณ์วิทยุอื่น ๆ ที่เชื่อมต่อกับไฟ AC

- อัตราการส่งข้อมูลมากกว่า 50 Mbps ยกเว้นกรณีของสัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์วิทยุอื่นๆ

- ความถี่แบนด์วิดท์อยู่ระหว่างความถี่บนและความถี่ล่าง โดยจะวัดค่าต่ำกว่า 10 dB จากค่าความหนาแน่นสเปคตรัมกำลังงานของสัญญาณหรือมีการใช้แถบความถี่มากกว่าหรือเท่ากับ 450 เมกะเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 ข้อจำกัดสเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งของประเทศญี่ปุ่น [21]

2.4.4 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในประเทศเกาหลี

กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งมีผลบังคับใช้ในช่วงฤดูร้อนปี 2006 โดยมีค่าความหนาแน่นสเปคตรัมกำลังงานคล้ายคลึงกับประเทศญี่ปุ่น แต่มีช่วงความถี่ต่างกันเพียงเล็กน้อย บางพารามิเตอร์เช่น LDC มีค่าใกล้เคียงกับสหภาพยุโรป ดังแสดงในรูป 2.12 ช่วงความถี่ที่สามารถใช้งานในช่วงความถี่ต่ำได้คือ 3.1 จิกะเฮิรตซ์ ถึง 4.8 จิกะเฮิรตซ์ และช่วงความถี่สูงคือ 7.2 จิกะเฮิรตซ์ ถึง 10.2 จิกะเฮิรตซ์ วิธีการลดสัญญาณรบกวนถูกใช้ในช่วงความถี่ต่ำ โดยมีพารามิเตอร์ที่ใช้และมีวิธีการดังนี้

- อุปกรณ์ของระบบแถบกว้างยิ่งถูกห้ามใช้ในส่วนงานบนเครื่องบิน เรือ ดาวเทียม วิทยุควบคุมการบิน

- ความถี่แบนด์วิดท์อยู่ระหว่างความถี่บนและความถี่ล่าง โดยจะวัดค่าต่ำกว่า 10 dB จากค่าความหนาแน่นสเปคตรัมกำลังงานของสัญญาณ หรือมีการใช้แถบความถี่มากกว่าหรือเท่ากับ 450 เมกะเฮิรตซ์

- หนึ่งในวิธีการลดสัญญาณรบกวนถูกใช้ในช่วงความถี่ 3.1 จิกะเฮิรตซ์ ถึง 4.8 จิกะเฮิรตซ์

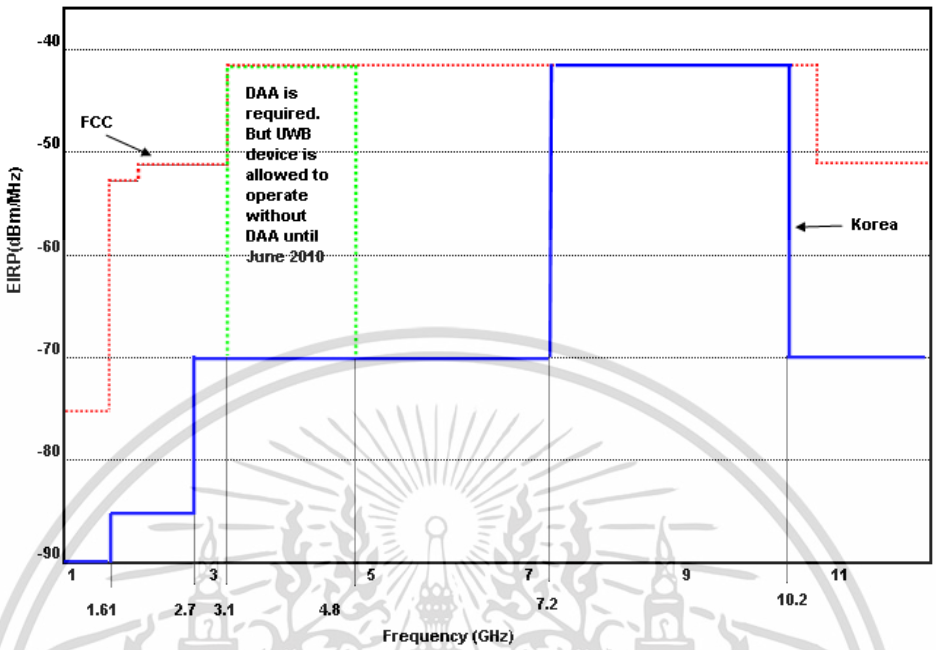
1.ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นสเปคตรัมกำลังงานไม่แกิน -70 dBm ต่อเมกะเฮิรตซ์

2.ช่วงเวลาการส่งอย่างต่อเนื่องไม่เกิน 5 ms และช่วงเวลาในการหยุดควรมากกว่า 1 วินาที

3.พลังงานที่ปล่อยออกมาจากอุปกรณ์ของระบบแถบกว้างยิ่งจะต้องลดลงไปถึงระดับน้อย -70dBm ต่อเมกะเฮิรตซ์ ภายใน 2วินาที เมื่อสัญญาณที่รับได้มีขนาดมากกว่า -80dBm ต่อเมกะเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.อุปกรณ์ของระบบแถบกว้างยิ่งจะต้องหลีกเลี่ยงสัญญาณที่รับได้มากกว่า -80dBm ต่อเมกะเฮิรตซ์ ภายใน 2 วินาที



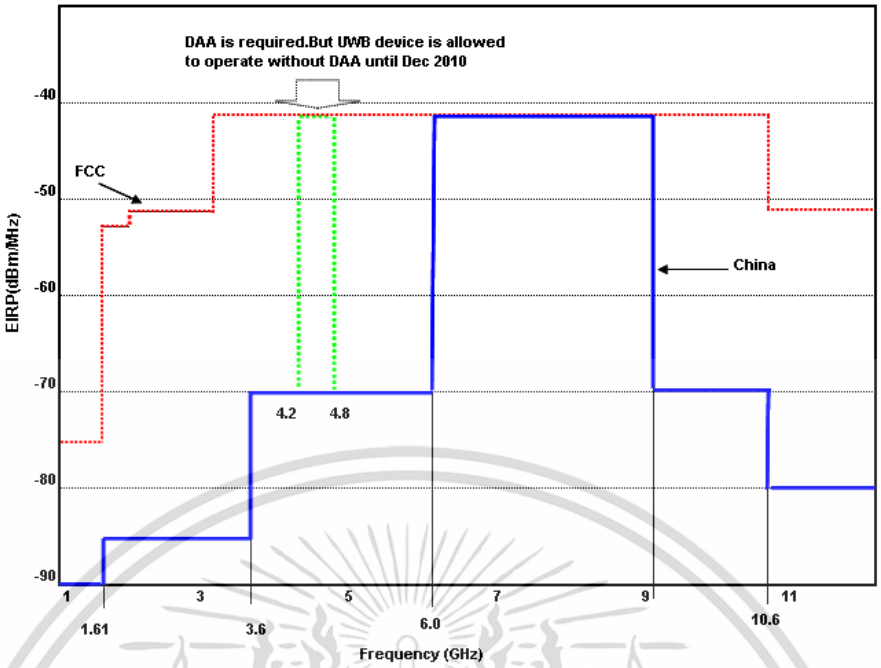
รูปที่ 2.12 ข้อจำกัดสเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งของประเทศเกาหลี [21]

2.4.5 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในประเทศจีน

กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งถูกบังคับใช้เมื่อเดือนธันวาคมปี ค.ศ. 2008 โดยกระทรวงอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสารสนเทศของประเทศจีน ความถี่แบนด์วิดท์อยู่ระหว่างความถี่บนและความถี่ล่าง โดยจะวัดค่าต่ำกว่า 10 dB จากค่าความหนาแน่นสเปคตรัมกำลังงานของสัญญาณ หรือมีการใช้แถบความถี่มากกว่า 500 เมกะเฮิรตซ์ ช่วงความถี่ที่สามารถใช้งานค่าความหนาแน่นสเปคตรัมกำลังงาน -41 dBm ต่อเมกะเฮิรตซ์ คือที่ 6 จิกะเฮิรตซ์ ถึง 9 จิกะเฮิรตซ์ และ4.2 จิกะเฮิรตซ์ ถึง 4.8 จิกะเฮิรตซ์ โดยใช้วิธีการลดการรบกวน จนถึงเดือนธันวาคม 2010 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นสเปคตรัมกำลังงานในประเทศจีนแสดงในรูปที่ 2.13 โดยมีกฎข้อบังคับอื่นๆอีกดังนี้

- อุปกรณ์ของระบบแถบกว้างยิ่งเป็นสิ่งต้องห้ามในการใช้งานบนเครื่องบิน
- อุปกรณ์ของระบบแถบกว้างยิ่งเป็นสิ่งต้องห้ามในการใช้งานในช่วงขอบเขต 1 กิโลเมตรของสถานีวิทยุดาราศาสตร์
- อุปกรณ์ของระบบแถบกว้างยิ่งต้องได้รับการรับรองจากกระทรวงอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสารสนเทศก่อนติดตั้งเพื่อใช้บริการ
- อุปกรณ์ภาคส่งของระบบแถบกว้างยิ่งจะต้องไม่สร้างสัญญาณรบกวนกับสถานีวิทยุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 ข้อจำกัดสเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งของประเทศจีน [21]

2.5 การประยุกต์และการนำระบบแถบกว้างยิ่งไปใช้งาน

ระบบแถบกว้างยิ่งนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายรูปแบบดังนี้

2.5.1 การประยุกต์ใช้งานเครือข่ายภายในอาคารสำนักงาน

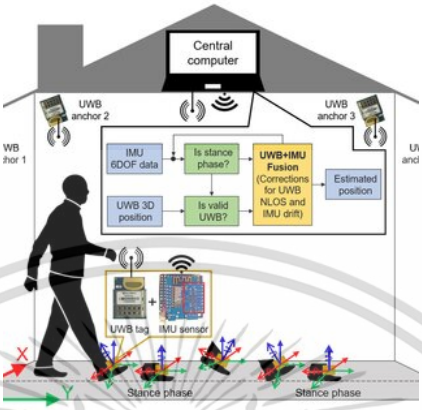
การนำเทคโนโลยีแบบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานในการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภายในอาคารสำนักงาน ซึ่งระบบการสื่อสารแบบไร้สายระยะสั้นมีความต้องการอัตราการส่งข้อมูลสูง เพื่อรองรับระบบมัลติมีเดียที่ใช้ในอาคารสำนักงานดังรูปที่ 2.14

รูปที่ 2.14 เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งสำหรับโครงข่ายไร้สายระหว่างรถยนต์และโทรศัพท์มือถือ [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 **การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายภายในที่พักอาศัย**

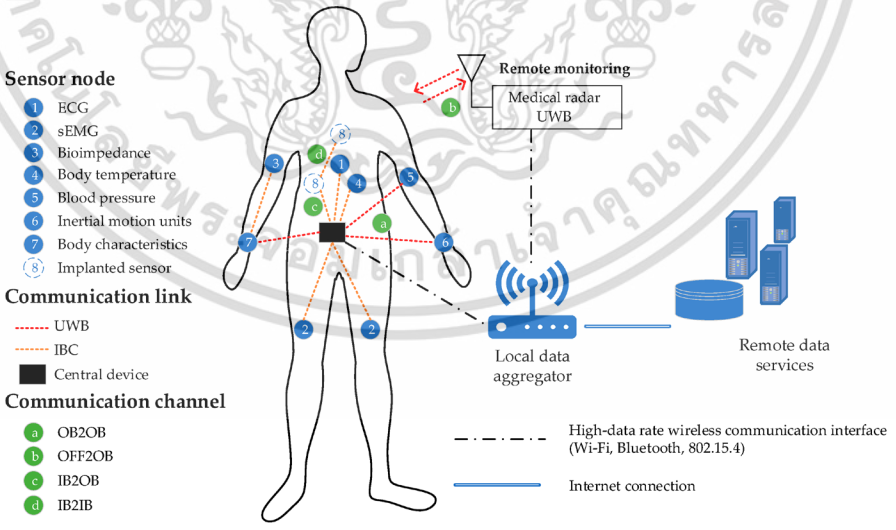
เป็นการนำเทคโนโลยีแบบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานในการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภายในที่พักอาศัย เช่น คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล เครื่องเล่นดีวีดี ทีวี กล้องดิจิทัล เป็นต้น ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งสำหรับโครงข่ายบ้านพักอาศัย [11]

2.5.3 **การประยุกต์เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งสำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์**

การนำเทคโนโลยีแบบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานในการเชื่อมต่อกับอวัยวะต่างๆของร่างกายมนุษย์ เพื่อให้อวัยวะของร่างกายสามารถสื่อสารกับโลกภายนอกได้ โดยมีประโยชน์โดยตรงต่อวิชาการทางแพทย์สำหรับดูแลสุขภาพ ตรวจวัดสมรรถภาพ เป็นต้น ดังรูปที่ 2.16

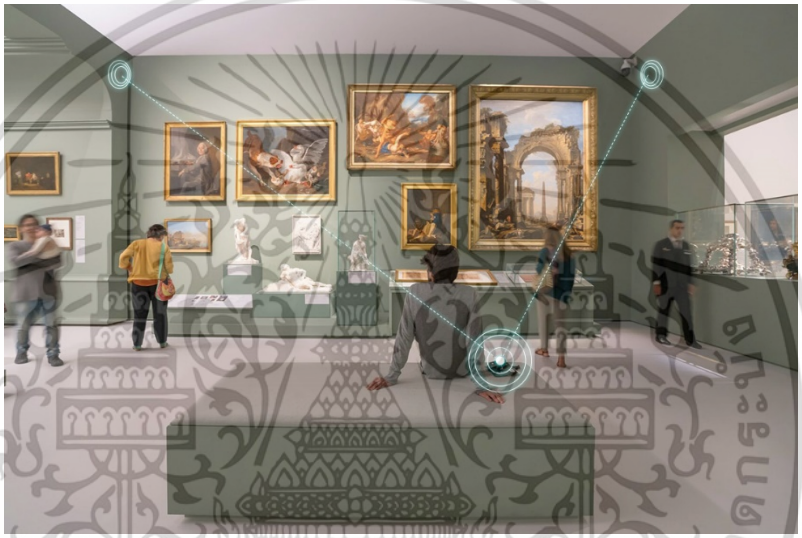


รูปที่ 2.16 เทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งประยุกต์ใช้สำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ [20]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4 **การประยุกต์ใช้งานในการค้นหาตำแหน่ง**

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



รูปที่ 2.17 เทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งสำหรับการหาตำแหน่ง [21]

2.6 สรุป

บทนี้ได้กล่าวถึงเทคโนโลยีโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ และเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งจากอดีตจนถึงปัจจุบันรวมถึงข้อกำหนดการทำงานระบบ เช่น แถบความถี่ กำลังงานส่ง รูปแบบสัญญาณส่ง และการประยุกต์ใช้งานตามข้อบังคับต่าง ๆ ของแต่ละประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา ยุโรป ญี่ปุ่น เกาหลี และจีน ไม่ว่าจะเป็นช่วงความถี่ที่ใช้งานซึ่งจะสัมพันธ์กับแบนด์วิดท์ของระบบ ระดับกำลังงานที่แพร่กระจายทั้งภายในและภายนอกอาคาร ที่กำหนดโดยองค์กรที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องอาทิเช่น คณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา และสถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป หรือ สหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ การประยุกต์และการนำไปใช้งานในด้านต่าง ๆ ของการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นองค์ความรู้เบื้องต้นของระบบการแบบแถบกว้างยิ่งเพื่อนำไปใช้ในการศึกษาวิจัยและวิเคราะห์ตามทฤษฎีและหลักการที่ได้แสดงในบทที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
หลักการประเมินผลช่องสัญญาณการส่งผ่านแถบกว้างยิ่ง

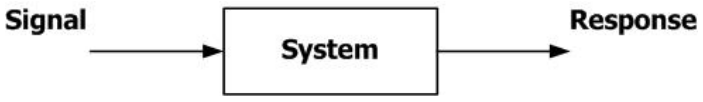
3.1 กล่าวนำ

ในระบบการสื่อสารแบบไร้สายนั้นมีหลายปัจจัยด้วยกันที่มีความจำเป็นจะต้องพิจารณาถึงคุณภาพการส่งผ่านของช่องสัญญาณ การสูญเสียในอวกาศว่าง และความผิดเพี้ยนจากสายอากาศเป็นต้น ซึ่งเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณ โดยในการแพร่กระจายคลื่นของสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารและภายนอกอาคารเป็นอีกสิ่งหนึ่งที่มีความสำคัญ เนื่องจากผลกระทบที่เกี่ยวกับทิศทาง ขอบเขตของเส้นทางและปัจจัยอื่น ๆ ล้วนแต่ส่งผลในการประเมินค่าประสิทธิภาพของระบบเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 และการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบทำได้โดยการนำผลที่ได้จากการวัดมาทำการหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ บนพื้นฐานและหลักการทฤษฎีการส่งผ่านของฟรีส ซึ่งพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้ในการวิเคราะห์การส่งผ่านแถบกว้างยิ่งในบทที่ 3 นี้

3.2 ฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณ

3.2.1 ผลตอบสนองความถี่ช่องสัญญาณ

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



รูปที่ 3.1 การวิเคราะห์ระบบเชิงเส้น

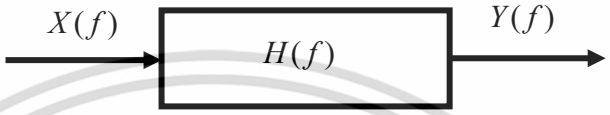
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

โดยที่

$Y(f)$ คือ เอาต์พุตของระบบในโดเมนความถี่

$X(f)$ คือ อินพุตของระบบในโดเมนความถี่



รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของระบบในโดเมนความถี่

3.2.2 ผลตอบสนองอิมพัลส์ช่องสัญญาณ

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

ฟังก์ชันอิมพัลส์จะไม่เหมือนกับฟังก์ชันทั่วไปโดยฟังก์ชันอิมพัลส์หนึ่งหน่วยมักนิยมแทนด้วยสัญลักษณ์ $\delta(t)$ และมีคุณสมบัติดังนี้คือ

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

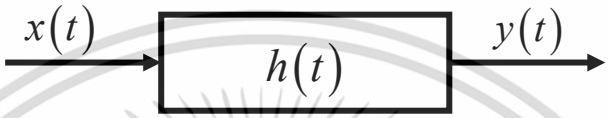
โดยในที่นี้ $f(t)$ จะต้องเป็นฟังก์ชันที่มีค่าต่อเนื่อง (Continuous) ที่ค่าเวลา $t = t_0$ จาก (3.2) เมื่อกำหนดให้ $f(t)$ = 1 จะได้

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชันอิมพัลส์หนึ่งหน่วย (Unit impulse function) แม้ว่าฟังก์ชันอิมพัลส์จะไม่สามารถสร้างได้จริงในทางปฏิบัติแต่ในทางทฤษฎีจะมีบทบาทในการวิเคราะห์สัญญาณและระบบโดยเฉพาะการบอกคุณสมบัติของระบบอีกทั้งสัญญาณอินพุตที่เป็นฟังก์ชันอิมพัลส์หนึ่งหน่วยนั้นยังถูกนิยามเรียกว่า ผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบใช้สัญลักษณ์ $h(t)$ แทนผลตอบสนองดังกล่าวซึ่งผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบสามารถใช้เป็นตัวแทนของระบบเพราะสามารถบอกคุณสมบัติของระบบนั้นได้และโดยเฉพาะเมื่อระบบภายใต้การพิจารณาเป็นระบบเชิงเส้นไม่เปลี่ยนตามเวลาค่าเอาต์พุต $y(t)$ ของระบบที่เกิดจากสัญญาณอินพุต $x(t)$ ใด ๆ นั้นสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้รูปที่ 3.3

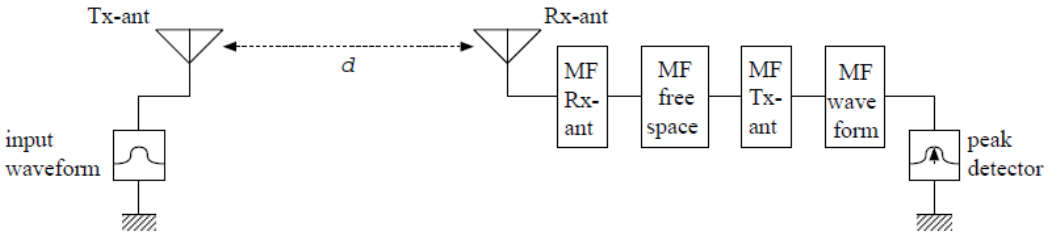


รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของระบบในโดเมนเวลา

3.3 แบบแผนการประเมินผลช่องสัญญาณการส่งผ่านสำหรับระบบแถบกว้างยิ่ง

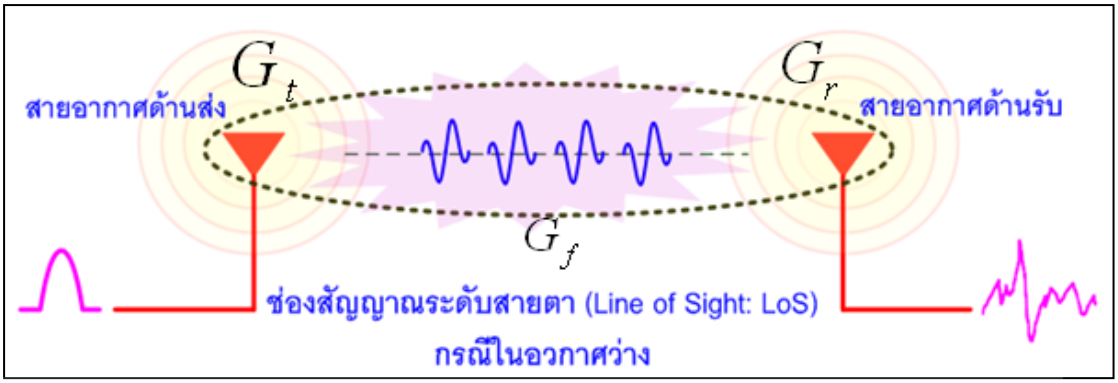
3.3.1 หลักการสูตรส่งผ่านของฟรีส

การส่งผ่านสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่งนั้นจะมีความแตกต่างจากการส่งสัญญาณคลื่นวิทยุโดยทั่วไปเนื่องจากเป็นการส่งสัญญาณในโดเมนทางเวลาและสัญญาณที่ใช้ในการส่งผ่านนั้นไม่มีการมอดูเลตกับสัญญาณพาหะก่อนทำการส่งสัญญาณออกผ่านสายอากาศทางด้านส่งเนื่องจากตามข้อกำหนดโดยคณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา ได้กำหนดให้ใช้ความถี่ในย่าน 3.1 จิกะเฮิรตซ์ ถึง 10.6 จิกะเฮิรตซ์ ซึ่งมีแถบความถี่กว้างมาก ในกระบวนการการส่งสัญญาณนั้น เริ่มจากการสร้างสัญญาณที่ใช้ในการส่งผ่านเป็นสัญญาณอินพุทเวฟฟอร์ม ส่งผ่านไปยังสายอากาศด้านส่งผ่านช่องสัญญาณไปยังสายอากาศทางด้านรับ เมื่อสัญญาณเดินทางมาถึงสายอากาศทางด้านรับแล้วจากนั้นสัญญาณที่ได้ผ่านกระบวนการส่งผ่านโดยพิจารณาทางด้านรับใช้วงจรกรองแบบแมตช์ (Match filter receiver) ดังรูปที่ 3.4 เพื่อให้ค่าอัตราส่วนกำลังสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR) มีค่าสูงมากที่สุด จากนั้นจึงมาถึงขั้นตอนของการตรวจจับสัญญาณและนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์เปรียบเทียบความสอดคล้องระหว่างในทางทฤษฎีและทางปฏิบัติต่อไป



รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรมของการวิเคราะห์การส่งผ่านสำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างการมนุษย์ [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 การสื่อสารไร้สายในอวกาศว่างด้วยสูตรการส่งผ่านของฟรีส

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาถึงการผลกระทบที่ต่อช่องสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่ง โดยในระบบแถบแคบโดยปกตินั้นจะถูกกำหนดโดยใช้หลักการส่งผ่านของฟรีสดังรูปที่ 3.5 แต่ว่าไม่สามารถนำมาใช้ได้โดยตรงกับการส่งสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่ง โดยในสูตรนั้นมีข้อจำกัดในเรื่องของความถี่ แต่อย่างไรก็ตามรูปร่างของสัญญาณอาจผิดเพี้ยนไปเนื่องจากคุณสมบัติในการตอบสนองความถี่ของสายอากาศจึงได้มีการปรับปรุงสมการของฟรีส เพื่อวิเคราะห์ความผิดเพี้ยนของสัญญาณ โดยสมการของฟรีสสามารถอธิบายได้ดังนี้คือ

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

โดยที่ $G_{\text{Friis}}(f)$ คือ อัตราการขยายของฟรีส

$P_r(f)$ คือ กำลังของสัญญาณด้านรับ

$P_t(f)$ คือ กำลังของสัญญาณด้านส่ง

$G_f(f)$ คือ อัตราการขยายของช่องสัญญาณในอวกาศว่าง

$G_r(f)$ คือ อัตราการขยายของด้านรับ

$G_t(f)$ คือ อัตราการขยายของด้านส่ง

และสามารถคำนวณหาฟังก์ชันการถ่ายโอนของอวกาศว่างได้จากสมการที่ 3.5

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

เมื่อ λ คือ ค่าความยาวคลื่น ซึ่ง $\lambda = \frac{c}{f}$

c คือ ความเร็วแสง (3×10^8 m/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

f คือ ความถี่ของสัญญาณ (Hz)

d คือ ระยะทางระหว่างภาคส่งและภาครับ (m)

โดยที่ $G_{\mathrm{f}}(f)$ คือ อัตราขยายของช่องสัญญาณในอวกาศว่าง (Free Space) หรือเขียนอยู่ในรูปฟังก์ชันการถ่ายโอนดังสมการ 3.6

$$H_{\mathrm{Friis}}(f,d)=\frac{V_{\mathrm{r}}(f)}{V_{\mathrm{t}}(f,d)}=H_{\mathrm{f}}(f,d)H_{\mathrm{r}}(f)H_{\mathrm{t}}(f) \tag{3.6}$$

เมื่อ

H_{f} คือ ฟังก์ชันการส่งผ่านความถี่ในอากาศว่าง

H_{r} คือ ฟังก์ชันการส่งผ่านของสายอากาศทางด้านรับ

H_{t} คือ ฟังก์ชันการส่งผ่านของสายอากาศทางด้านส่ง

V_{r} คือ ค่าแอมพลิจูดของสัญญาณทางด้านรับ

V_{t} คือ ค่าแอมพลิจูดของสัญญาณทางด้านส่ง

f คือ ความถี่

d คือ ระยะห่างระหว่างด้านส่งและด้านรับ

แต่สูตรการส่งผ่านของฟรีสดังสมการที่ 3.6 เมื่อนำมาใช้ร่วมกับระบบสื่อสารที่เป็นแบบแถบกว้าง เช่น ระบบแบบแถบกว้างยิ่ง สมการของฟรีสไม่สามารถใช้ในการเปรียบเทียบสัญญาณระหว่างด้านส่งกับด้านรับได้ทำให้ไม่สามารถพิจารณาการผิดเพี้ยนของสัญญาณได้ เพราะว่าจากสมการที่ 3.6 นั้นไม่มีสัญญาณด้านอินพุตมาเกี่ยวข้องจึงต้องมีการปรับแต่งประยุกต์ให้เหมาะสมกับความต้องการเสียใหม่ โดยสมการที่ปรับแต่งแล้วมีรูปแบบเป็นตามสมการที่ 3.7 ซึ่งเรียกว่า การขยายตัวของหลักการการส่งผ่านของฟรีส (Extension Friis' transmission formula) [13] ดังรูปที่ 3.4 ซึ่งจะเขียนอยู่ในรูปของฟังก์ชันการถ่ายโอน

$$H_{\text{e-Friis}}(f,d)=H_{\mathrm{f}}(f,d)H_{\mathrm{i}}(f)H_{\mathrm{r}}(f)H_{\mathrm{t}}(f) \tag{3.7}$$

3.3.2 เครื่องรับแบบแมตช์บนพื้นฐานสูตรการส่งผ่านของฟรีส

ทางด้านเครื่องรับแบบแมตช์ $H_{\mathrm{MF}}(f)$ จะเป็นตัวที่ทำให้ค่าอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to noise ratio; SNR) ของเอาท์พุตทางด้านเครื่องรับสูงที่สุดดังที่ได้แสดงในรูปที่ 3.5 หาได้จากสมการ

$$H_{\mathrm{MF}}(f)=\frac{H^{*}_{\mathrm{e-Friis}}(f)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty}\left|H^{*}_{\mathrm{e-Friis}}\right|^{2}df}} \tag{3.8}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ได้จะทำให้กำลังงานเอาท์พุตของสัญญาณรบกวนที่ได้มีค่าคงที่ ดังสมการที่ 3.19

$$\int_{-\infty}^{\infty} \left| H_{\mathrm{MF}}^{*}(f) \right|^{2} df = 1 \tag{3.9}$$

ในกรณี $E_{\mathrm{i}} = 1$ รูปคลื่นเอาท์พุตและสเปกตรัมของเอาท์พุตด้านเครื่องรับ คือ $h_{\mathrm{e-Friis}}(t)$ และ $H_{\mathrm{e-Friis}}(f)$ ตามลำดับ รูปคลื่นเอาท์พุตที่ได้จากวงจรกรองแบบแมตช์ $v_{\mathrm{MF}}(t)$ และสเปกตรัมของเอาท์พุตที่ได้จากวงจรกรองแบบแมตช์ $V_{\mathrm{MF}}(f)$ แสดงดังสมการที่ 3.10 และ 3.11 ตามลำดับ

$$v_{\mathrm{MF}}(t) = h_{\mathrm{e-Friis}}(t) * h_{\mathrm{MF}}(-t) \tag{3.10}$$

$$= \frac{h_{\mathrm{e-Friis}}(t) * h_{\mathrm{MF}}(-t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} h^{2}{}_{\mathrm{e-Friis}}(t)dt}} \tag{3.11}$$

$$V_{\mathrm{MF}}(f) = H_{\mathrm{e-Friis}}(f) * H_{\mathrm{MF}}(f) \tag{3.23}$$

$$= \frac{\left| H_{\mathrm{e-Friis}}(f) \right|^{2}}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} \left| H_{\mathrm{e-Friis}}(f) \right|^{2} df}} \tag{3.24}$$

3.3.3 อัตราขยายบนพื้นฐานสูตรการส่งผ่านของฟรีส

อัตราการขยายการส่งผ่านนิยามเป็นแอมปลิจูดสูงสุดของเอาต์พุตเครื่องรับแบบแมตช์ที่พิจารณากรณีไม่มีร่างกายมนุษย์ถูกนอร์แมลไลซ์ และการนอร์แมลไลซ์ของกรณีที่ประกอบด้วยร่างกายมนุษย์ของอัตราการขยายที่ได้แสดงอัตราการขยายของอัตราส่วน SNR ดังนั้นอัตราการขยายการส่งผ่านของกรณีที่ประกอบด้วยร่างกายรับได้ G_{wm} แสดงได้เป็น

$$G_{\mathrm{wm}}(t) = 20\log \frac{\max\left| \int_{-\infty}^{\infty} v_{\mathrm{r}}(t) h_{\mathrm{wm}}(t-\tau)\mathrm{d}t \right|}{\max\left| \int_{-\infty}^{\infty} v_{\mathrm{r\text{-}iso}}(t) h_{\mathrm{wc}}(t-\tau)\mathrm{d}t \right|} \tag{3.12}$$

และในทำนองเดียวกันอัตราการขยายการส่งผ่านของกรณีที่ไม่มีร่างกาย G_{wc} สามารถเขียนได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G_{\mathrm{wc}}(t) = 20\log\frac{\max\left|\int_{-\infty}^{\infty} v_{\mathrm{r}}(t)h_{\mathrm{wc}}(t-\tau)\mathrm{d}t\right|}{\max\left|\int_{-\infty}^{\infty} v_{\mathrm{r\text{-}iso}}(t)h_{\mathrm{wc}}(t-\tau)\mathrm{d}t\right|} \tag{3.13}$$

ความแตกต่างระหว่างอัตราการขยายการส่งผ่านของกรณีต้นแบบสัญญาณที่รับได้และกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์ได้เป็นการระบุปริมาณความผิดเพี้ยนของรูปคลื่น ซึ่งจะเห็นว่าอัตราการขยายการส่งผ่านที่มีร่างกายมนุษย์ ไม่สามารถเป็นเพียงการคูณกันระหว่างอัตราการขยายของสายอากาศ ดังนั้นจึงแตกต่างจากสูตรการส่งผ่านสัญญาณของฟรีสแบบดั้งเดิม

3.4 การสูญเสียเชิงวิถี

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

ในระบบสื่อสารไร้สาย สัญญาณที่กำเนิดขึ้นจากภาคส่งที่จะต้องนำไปป้อนเข้าสายอากาศเพื่อแปลงสัญญาณไฟฟ้าไปเป็นสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic) สำหรับแพร่กระจายผ่านช่องสัญญาณซึ่งโดยทั่วไปก็คืออากาศ เมื่อสัญญาณเดินทางมาถึงภาครับก็จะมีสายอากาศรับสัญญาณซึ่งทำหน้าที่กลับกันจากภาคส่ง คือทำการแปลงสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากลับไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าอีกครั้ง ในการส่งคลื่นสัญญาณผ่านอวกาศว่างนั้น มักจะนิยามให้ค่าการสูญเสียเชิงวิถีในอวกาศว่าง (Free space path loss) มีค่าเป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังงานของสัญญาณที่ถูกส่งต่อกำลังงานของสัญญาณที่รับได้ โดยทั่วไปมักจะแสดงให้อยู่ในหน่วยของเดซิเบล (Decibel) ดังแสดงในสมการที่ 3.14

$$PL = \frac{P_{\mathrm{t}}}{P_{\mathrm{r}}} \tag{3.14}$$

เมื่อ

P_{t} คือ ระดับสัญญาณที่ใช้ส่ง

P_{r} คือ ระดับสัญญาณที่รับได้

โดยในการวิเคราะห์ค่าสูญเสียเชิงวิถีในระบบแถบกว้างยิ่ง PL_{UWB} นั้นจะพิจารณาที่กำลังงานสูงสุดของสัญญาณที่ใช้ส่งและกำลังสูงสุดของสัญญาณที่รับได้ซึ่งเป็นฟังก์ชันของระยะทาง (d) โดยมีนิยามเป็นไปตามสมการที่ 3.15 และ 3.16 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

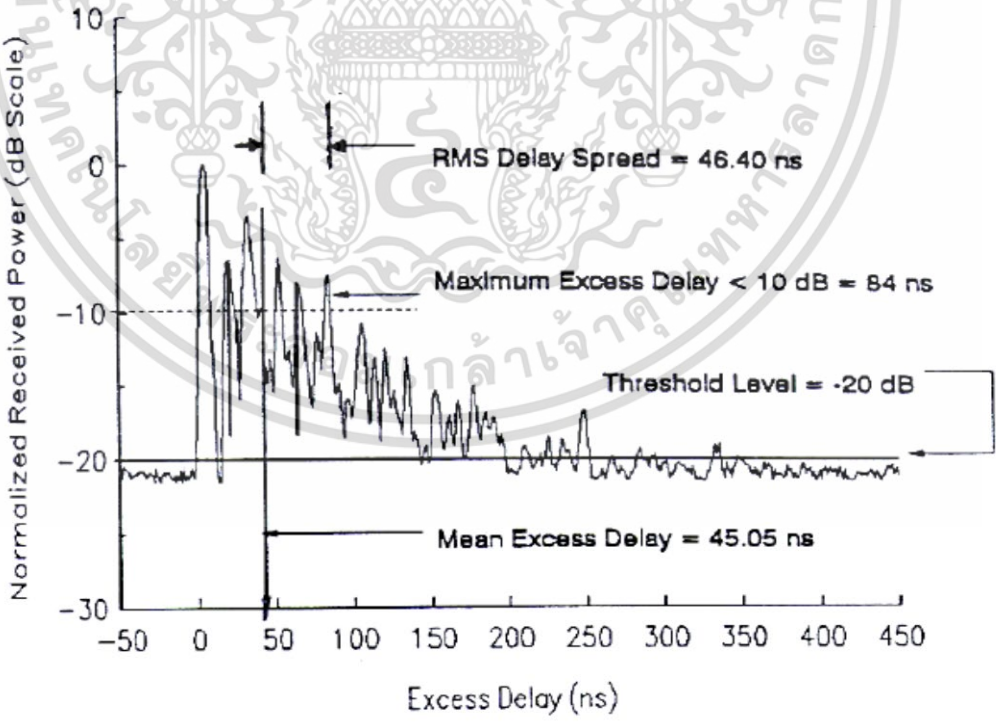
$$PL[dB] = 20\log\left[\frac{\max|v_t(t)|}{\max|v_r(t,d)|}\right] \tag{3.15}$$

โดยในสมการที่ 3.16 ได้กำหนดให้ขนาดของสัญญาณที่ใช้ส่งมีค่าเท่ากับ 1 ดังนั้นสามารถจัดสมการใหม่ได้ดังนี้

$$PL_{\mathrm{UWB}}(d)[dB] = -20\log\left[\max|v_r(t,d)|\right] \tag{3.16}$$

3.5 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน

เป็นการแสดงให้เห็นถึงระดับกำลังงานของสัญญาณที่เข้ามายังภาครับที่เวลาต่าง ๆ อีกทั้งยังแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของสัญญาณที่มีการสะท้อนในหลายทิศทางหรือที่เรียกว่าสัญญาณหลายวิถี โดยจะเรียกว่า ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน (Power delay profile: PDP) ตัวอย่างของ PDP ได้แสดงดังรูปที่ 3.6 [14] โดยจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างระดับกำลังงานของสัญญาณที่รับได้ต่อเวลาที่เข้ามาถึง และนอกจากนั้นยังสามารถนำไปพิจารณาถึงผลการกระจายทางเวลา (Time dispersion) ประกอบด้วย การประวิงเข้าถึงเฉลี่ย (Mean excess delay) และ ค่าการแผ่ประวิง RMS (RMS delay spread)



รูปที่ 3.6 ภาพตัดข้างการประวิงกำลังงาน [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่กล่าวมาแล้วในข้างต้นว่าเส้นทางการส่งผ่านของสัญญาณระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับมีได้หลายทิศทาง และสัญญาณแต่ละส่วนมักจะส่งผ่านในเส้นทางที่มีระยะทางไม่เท่ากัน สัญญาณบางส่วนอาจจะเดินทางในระดับเส้นสายตาระหว่างภาคส่งและภาครับ สัญญาณส่วนนี้มักจะเดินทางถึงภาครับได้เร็ว ในขณะที่สัญญาณส่วนอื่นที่มีการตกกระทบพื้นผิวของวัสดุและเกิดการสะท้อนหลายครั้งกว่าจะเดินทางถึงภาครับ สัญญาณมักจะใช้เวลาการแพร่กระจายที่ยาวนานกว่า ความล่าช้าในการเดินทางของสัญญาณแต่ละส่วนก่อให้เกิดปัญหาที่เรียกว่า การแผ่ประวิง (Delay spread) ขึ้น นั่นคือสัญญาณแต่ละส่วนใช้เวลาเดินทางถึงจุดหมายไม่เท่ากัน หากจะพิจารณาถึงเวลาที่ถูกประวิงออกไปของสัญญาณที่เข้ามายังภาครับ ในส่วนของการกระจายทางเวลา (Time dispersion) นั้นสามารถที่จะวิเคราะห์โดยใช้พารามิเตอร์ที่เรียกว่า ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ประวิงเกินออกไปจากค่าเวลาเดิมหรือการประวิงเข้าถึงเฉลี่ย (Mean excess delay; $\bar{\tau}$) และค่าการแผ่ประวิง RMS (RMS delay spread; σ_τ) ซึ่งค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 ตัวนี้ถูกนิยามไว้ดังสมการที่ 3.17 และสมการที่ 3.18 ตามลำดับ [14]

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_{i=1}^{n} a_i^2 \tau_i}{\sum_{i=1}^{n} a_i^2} = \frac{\sum_{i=1}^{n} P(\tau_i)\tau_i}{\sum_{i=1}^{n} P(\tau_i)} \tag{3.17}$$

โดยที่

$\bar{\tau}$ คือ การประวิงเข้าถึงเฉลี่ย

a_i คือ ระดับของสัญญาณเส้นทางที่ i

τ_i คือ เวลาประวิงที่เกิดขึ้นของสัญญาณเส้นทางที่ i

$P(\tau_i)$ คือ ระดับกำลังงานของสัญญาณเส้นทางที่ i

สำหรับค่าการแผ่ประวิง RMS นั้นจะมีนิยามคือ

$$\sigma_\tau = \sqrt{\overline{\tau^2} - (\bar{\tau})^2} \tag{3.37}$$

โดยที่

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงหลักการวิเคราะห์และการประเมินผลการส่งผ่านช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์และกรณีที่มีร่างกายมนุษย์บนพื้นฐานสูตรการส่งผ่านของฟรีส และได้นำเสนอเครื่องรับแบบแมตช์เพื่อความเหมาะสมที่สุดและได้ค่าอัตราส่วนกำลังสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่าสูงมากที่สุด ผลการทดลองวิจัยและผลการวิเคราะห์อัตราขยายการส่งผ่าน หน้าตัดข้างการประวิงกำลัง ซึ่งพารามิเตอร์เหล่านี้จะแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ อันเนื่องมาจากผลกระทบจากปัจจัยร่างกายของมนุษย์และสายอากาศดังที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น ได้แสดงขั้นตอนในแบบแผนการจำลองและการทดลองวิจัยไว้ในบทที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การจัดเตรียมทดลองวิจัย

4.1 กล่าวนำ

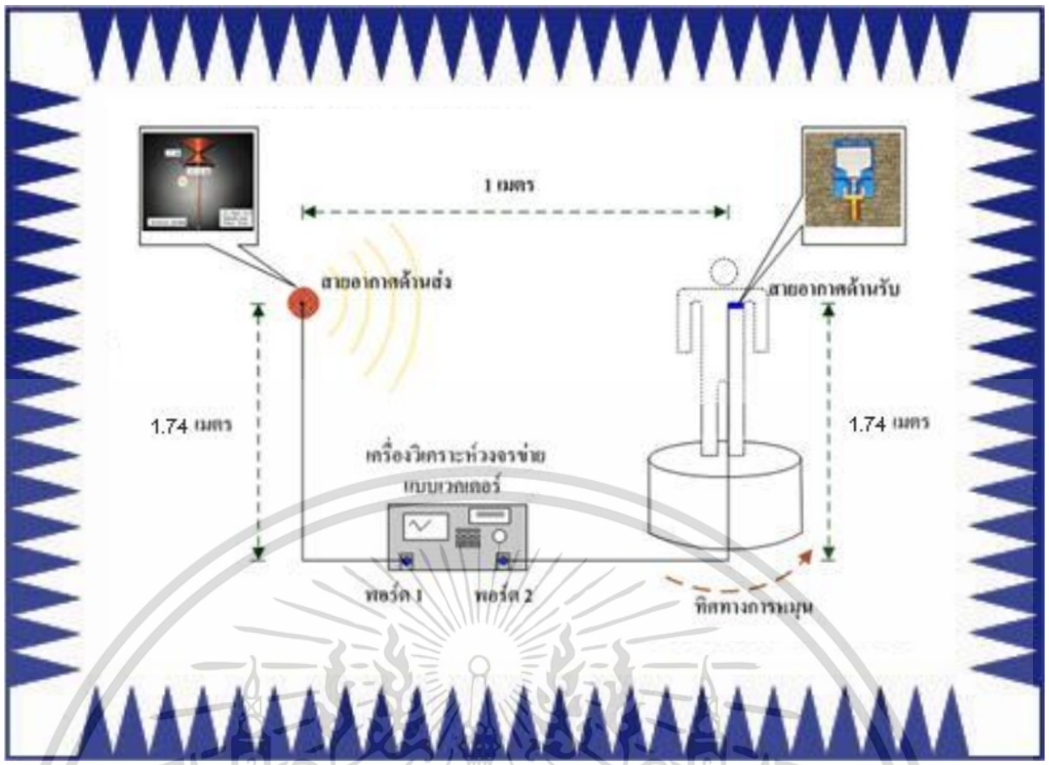
ในบทนี้จะกล่าวถึงการจำลองของการวัดสัญญาณการส่งผ่านแถบกว้างยิ่งในห้องไร้การสะท้อนและนำผลที่ได้จากการวัดจริงไปวิเคราะห์ตามทฤษฎีและหลักการที่แสดงไว้ในบทที่ 3 จากนั้นนำผลที่ได้จากการวัดและวิเคราะห์มาประเมินผลเปรียบเทียบโดยแสดงไว้ในบทที่ 5 เพื่อตรวจสอบผลการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณในระบบการสื่อสารไร้สาย โดยพิจารณาอยู่ 2 วิธีด้วยกันคือ ตรวจสอบจากการใช้แบบจำลองช่องสัญญาณบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์และตรวจสอบจากการวัดโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์เพื่อตรวจสอบบนโดเมนความถี่ โดยวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการทดสอบบนพื้นฐานของการทดลองวัด และข้อมูลที่ได้จากการวัดไปประเมินผลตามนิยามที่ได้นำเสนอของการศึกษาวิจัยนี้ สำหรับขั้นตอนในการทดลองวัดนั้นมีความจำเป็นต้องมีการจัดเตรียมอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องให้พร้อม โดยได้กล่าวถึงในข้อหัวต่อไปและสิ่งที่สำคัญที่สุดอีกอย่างหนึ่งคือการกำหนดแบบจำลองหรือลักษณะสภาพแวดล้อมซึ่งได้เป็นตัวกำหนดปัจจัยของการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณการส่งผ่านแถบกว้างที่ต้องการตรวจสอบโดยได้ทำการวิเคราะห์และประเมินผลโดยเฉพาะอย่างยิ่งผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ที่ได้ส่งผลกระทบต่อระดับความแรงของสัญญาณบนช่องสัญญาณการส่งผ่านแถบกว้างยิ่ง เพื่อการพัฒนาไปสู่โครงข่ายการสื่อสารไร้บนร่างการมนุษย์ โดยมีสายอากาศด้านรับที่ติดเข้ากับร่างกายมนุษย์จะทำการหมุนทีละ 5 องศา ซึ่งได้กำหนดการจำลองของการวัดสัญญาณแถบกว้างยิ่งแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือทำการวัดโดยมีผลกระทบจากร่างกายมนุษย์และไม่มีผลกระทบจากร่างกายมนุษย์

4.2 แบบจำลองการทดลองวิจัย

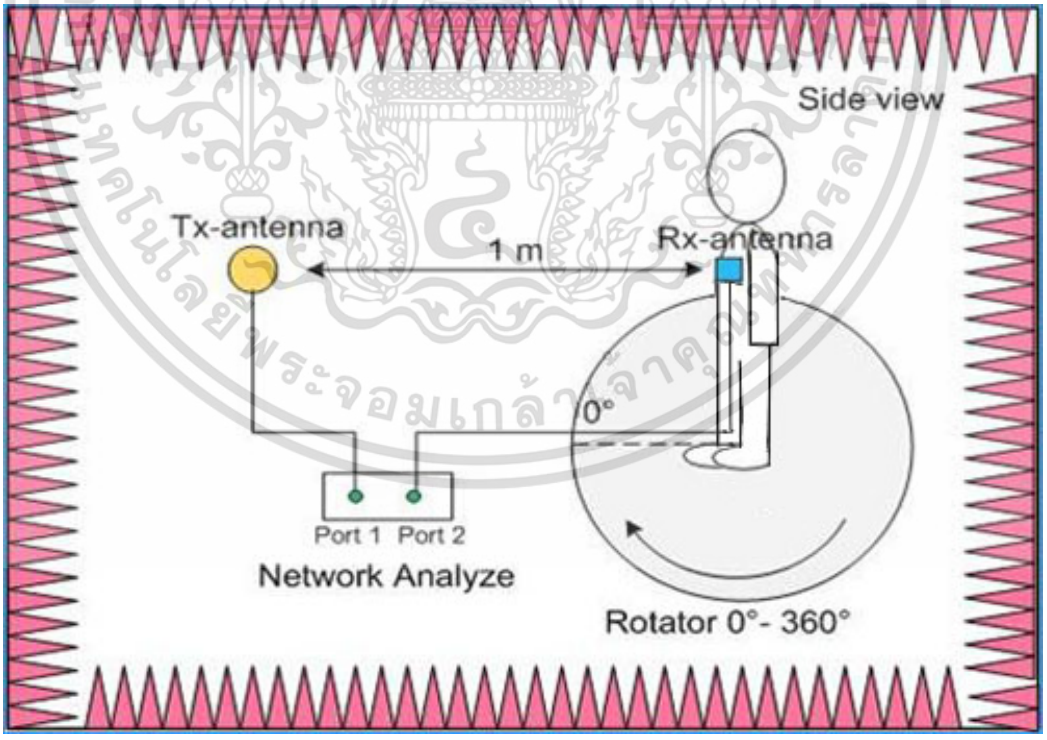
เครื่องวิเคราะห์วงจรข่ายแบบเวกเตอร์จะใช้ทดลองในโหมดซึ่งใช้วัดการตอบสนองเมื่อพอร์ตที่ 1 คือพอร์ตที่ใช้ในการส่งสัญญาณ (Tx) และพอร์ต 2 จะใช้ในการรับสัญญาณ (Rx) ตามลำดับ โดยจะวัดในห้องไร้การสะท้อนของคลื่น สายอากาศทั้งด้านรับและด้านส่งจะถูกติดตั้งและมีความสูง 1.74 เมตร มีระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ 1 เมตร แสดงไว้ในรูปที่ 4.1

ในการวัดฟังก์ชันการถ่ายโอนระหว่างสายอากาศทางด้านส่ง และสายอากาศทางด้านรับ สายอากาศทางด้านส่งจะถูกยึดติดและทำมุม 0 องศา และสายอากาศทางด้านรับจะหมุนจากมุม 0 องศา ถึง 360 องศา โดยเคลื่อนที่ครั้งละ 5 องศา ดังแสดงในรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 การจัดเตรียมอุปกรณ์การวัดในห้องไร้การสะท้อน

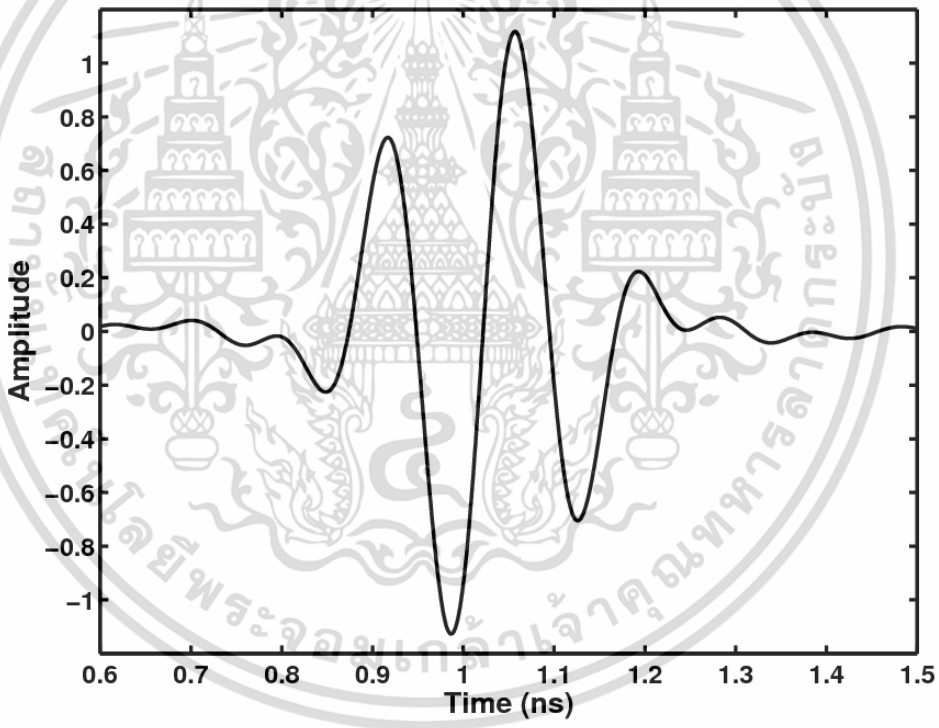


รูปที่ 4.2 การปรับหมุนสายอากาศทางด้านรับ 0 ถึง 360 องศา ในมุมมองจากด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

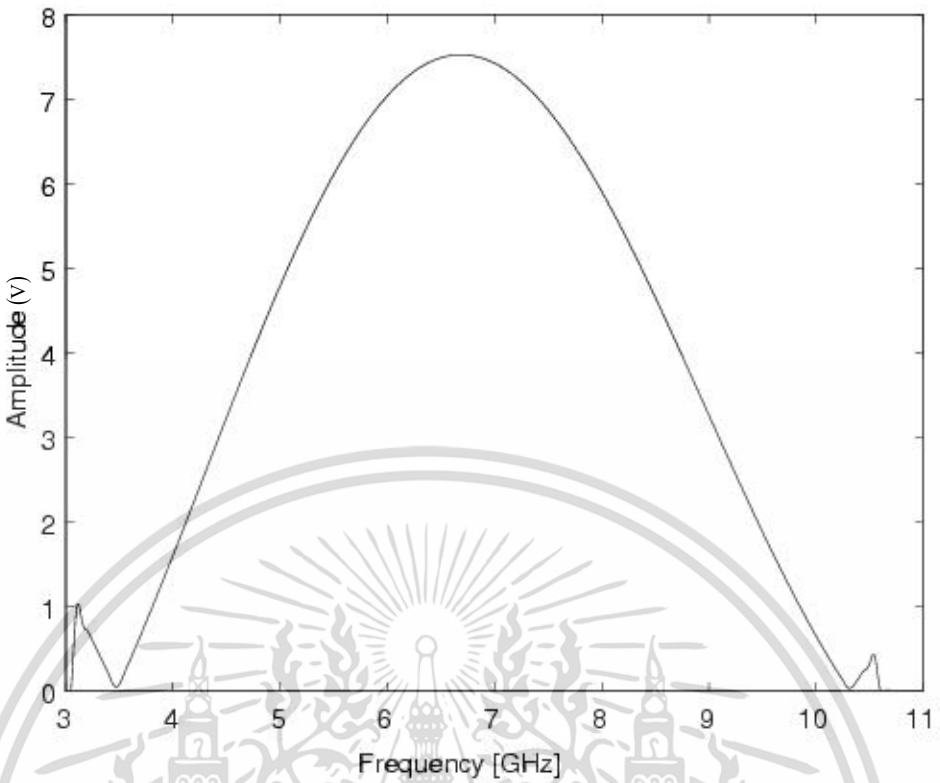
4.2.1 การจำลองส่งของสัญญาณรูปคลื่นและสเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่ง

ผลกระทบจากสายอากาศทำให้การผิดเพี้ยนของรูปคลื่นส่งจะเห็นได้ชัดเมื่อแถบความถี่สูงขึ้น โดยพิจารณาได้จากสัญญาณวิทยุอิมพัลส์ซึ่งมีความถี่ครอบคลุมตลอดทั้งช่วงที่คณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา กำหนด ตั้งแต่ 3.1 จิกะเฮิรตซ์ ถึง 10.6 จิกะเฮิรตซ์ โดยมีความถี่กลาง (f_0) ที่ 6.85 จิกะเฮิรตซ์ และแบนด์วิดท์ความถี่สเปกตรัม (f_b) มากถึง 7.5 กิกะเฮิรตซ์ ในการทดลองการส่งผ่านคลื่นนั้นได้สมมุติให้เป็นสัญญาณแบบ ASK (Amplitude-shift keying) แบบเดี่ยว พร้อมกับความถี่พาห์ f_0 เพื่อให้เป็นไปตามการกำหนดค่าของ f_b ความยาวของสัญญาณต้องตั้งไว้ที่ $\frac{2}{f_b}$ ดังนั้นสัญญาณจะถูกจำกัดช่วงโดยฟิลเตอร์ที่มีการลดลงอย่างสม่ำเสมอของ Nyquist roll-off และแถบผ่าน ($f_0 - \frac{f_b}{2}, f_0 + \frac{f_b}{2}$) รูปที่ 4.3 และ รูปที่ 4.8 แสดงรูปคลื่นสัญญาณในโดเมนเวลาและสเปกตรัมสัญญาณในโดเมนความถี่



รูปที่ 4.3 รูปคลื่นสัญญาณส่งของระบบแถบกว้างยิ่ง [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

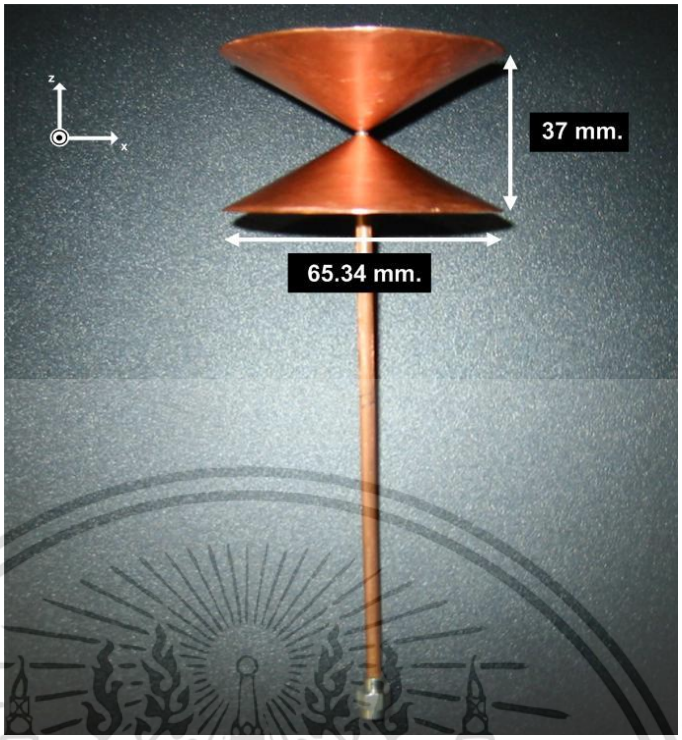


รูปที่ 4.4 สเปกตรัมสัญญาณส่งของระบบแถบกว้างยิ่ง [13]

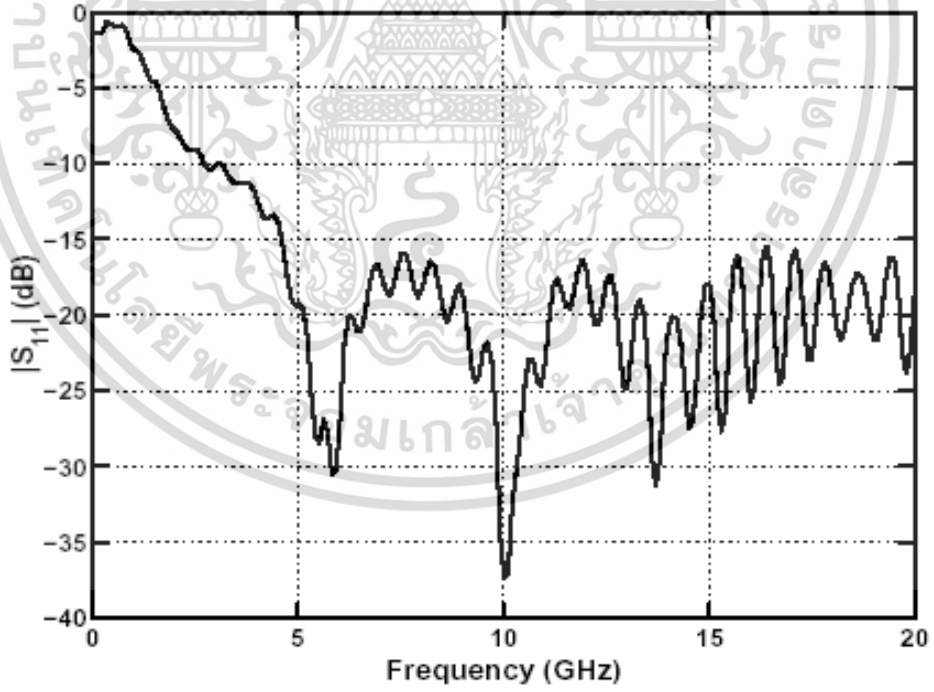
4.3 สายอากาศที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองและประเมินผลการวัดได้ใช้สายอากาศแถบกว้างและมีความหมาะสมสำหรับการทดลองวิจัย โครงสร้างและขนาดของสายอากาศแถบกว้างได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.5 และ รูปที่ 4.6 ได้แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติของสายอากาศกรวยคู่ โดยสายอากาศทางด้านส่งเป็นสายอากาศแบบกรวยคู่ที่ได้สร้างขึ้นในห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีระบบแถบกว้างยิ่ง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุดขนาด 65.3 มิลลิเมตร และยาว 37 มิลลิเมตร และใช้สายนำสัญญาณเซมิลิจิดป้อนเข้าตรงกลางกราย ซึ่งเป็นสายอากาศมาตรฐานส่งและได้ผ่านการปรับเทียบด้วยการใช้ขบวนการสามสายอากาศ [13] และสำหรับสายอากาศทางด้านรับได้ใช้สายอากาศเส้นตัวนำกลางคดเคี้ยวเป็นสายอากาศที่มีขายในท้องตลาด ได้แสดงโครงสร้างดังรูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8 ได้แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติของสายอากาศเส้นตัวนำกลางคดเคี้ยว โดยการพัฒนาและสร้างขึ้นโดยบริษัท Skycross ในประเทศสหรัฐอเมริกา [3] ได้นำมาใช้เป็นสายอากาศที่ใช้ในการทดลองวิจัยเนื่องมีความเหมาะสมและสะดวกต่อการติดตั้งเข้ากับร่างกายมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

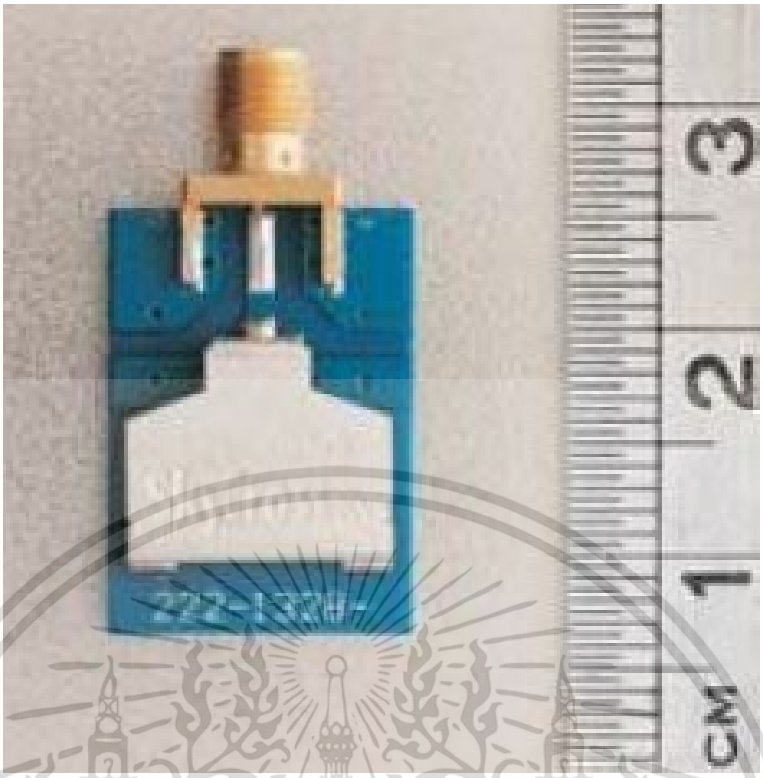


รูปที่ 4.5 โครงสร้างและขนาดของสายอากาศแบบกรวยคู่ (Biconical antenna) [13]

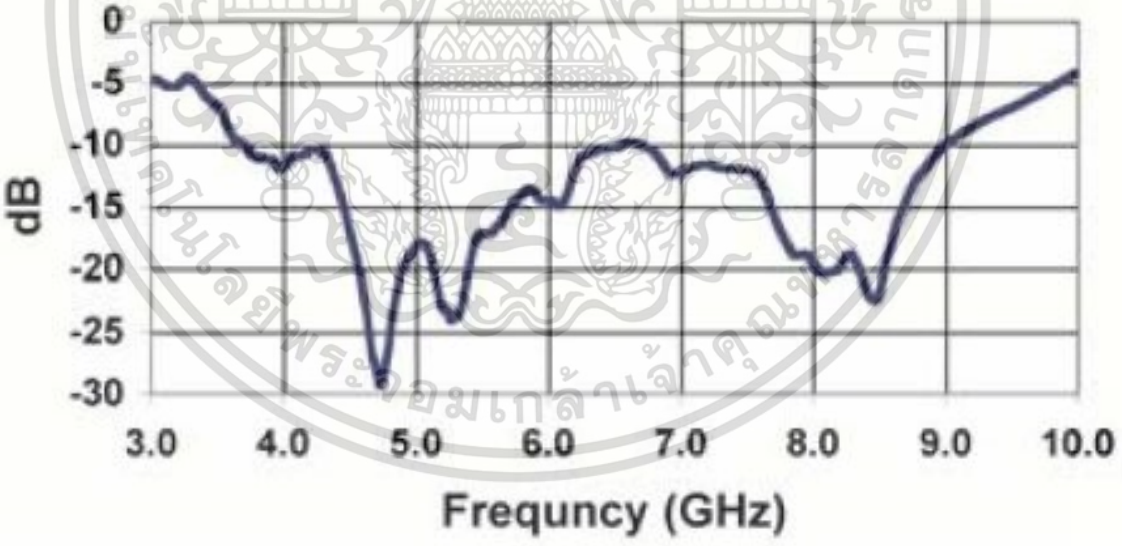


รูปที่ 4.6 สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ $|S_{11}|$ คุณสมบัติของสายอากาศแบบกรวยคู่ [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 สายอากาศแบบเส้นตัวนำกลางคตเคี้ยว (Meander line antenna) [17]



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์สำคัญสำหรับการทดลองวิจัยได้แสดงไว้ในตาราง

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัด

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

4.5 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงขั้นตอนในการทดลองวัดช่องสัญญาณการส่งผ่านแถบกว้างยิ่งในห้องไร้การสะท้อนของคลื่น โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์เป็นอุปกรณ์หลักในการวัดในโดเมนความถี่เพื่อวิเคราะห์หาผลกระทบต่าง ๆ ที่เกิดจากสภาวะในห้องไร้การสะท้อน และใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ที่สามารถตอบสนองที่ความถี่ในช่วง 3.1 จิกะเฮิรตซ์ ถึง 10.6 จิกะเฮิรตซ์ เป็นสายอากาศด้านส่งและสายอากาศแบบเส้นตัวนำกลางคตเคี้ยวเป็นด้านรับติดกับร่างกายมนุษย์แล้วทำการหมุนทีละ 5 องศา แบบจำลองสัญญาณที่ใช้ส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านแบบเกาส์ที่ผ่านการมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูดเพื่อวิเคราะห์ผลของช่องสัญญาณ โดยทำการทดลองกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์และกรณีมีร่างกายมนุษย์ โดยข้อมูลที่ได้จากการวัดนำไปวิเคราะห์และประเมินผลเปรียบเทียบดังแสดงไว้ในบทที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
การประเมินผลการทดลองวิจัย

5.1 กล่าวนำ

สำหรับบทนี้ได้กล่าวถึงผลการทดลองวิจัย และการประเมินผลที่ได้จากการวัดจริงของช่องสัญญาณการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่งในกรณีอวกาศว่างหรือไม่มีร่างกายมนุษย์ และในกรณีที่มีร่างกายมนุษย์ประกอบด้วย ตามแบบแผนที่ได้เสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.1 ในบทที่ 3 และในบทที่ 4 ได้ทำการทดลองวิจัยตามแบบแผนที่ได้เสนอ จากการวัดและประเมินผลการทดลองวิจัย ได้แสดงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้ ในรูปแบบของขนาดและเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งทั้งสองกรณี ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ และอัตราการขยายการส่งผ่านของสัญญาณโดยได้ประเมินผลเปรียบเทียบกันระหว่างกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์ และในกรณีมีผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ ซึ่งเป็นประเด็นหลักสำคัญของการศึกษาวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้และการพัฒนาต่อยอดไปยังโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ และเทคโนโลยีไร้สายทางด้านการแพทย์

5.2 การประเมินผลการวัด

ได้ทำการทดลองภายในห้องดูดซับการสะท้อนของคลื่นเพื่อลดผลกระทบจากการสะท้อนของคลื่นในบริเวณแต่ละด้านของห้องโดยกำหนดให้สายอากาศทางด้านรับเป็นแบบเส้นตัวนำกลางและสายอากาศทางด้านส่งเป็นแบบกรวยคู่ ซึ่งมีลักษณะและขั้นตอนการวัดดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 โดยผลที่ได้จากการวัดจะแบ่งเป็น 2 กรณีคือ กรณีที่มีผลและไม่มีผลจากร่างกายมนุษย์ในมุมต่าง ๆ ตั้งแต่ 0 องศา ถึง 360 องศา ซึ่งเมื่อนำข้อมูลดังกล่าวไปวิเคราะห์บนโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะสามารถแสดงให้เห็นถึงผลที่เกิดขึ้นในลักษณะต่าง ๆ ดังนี้

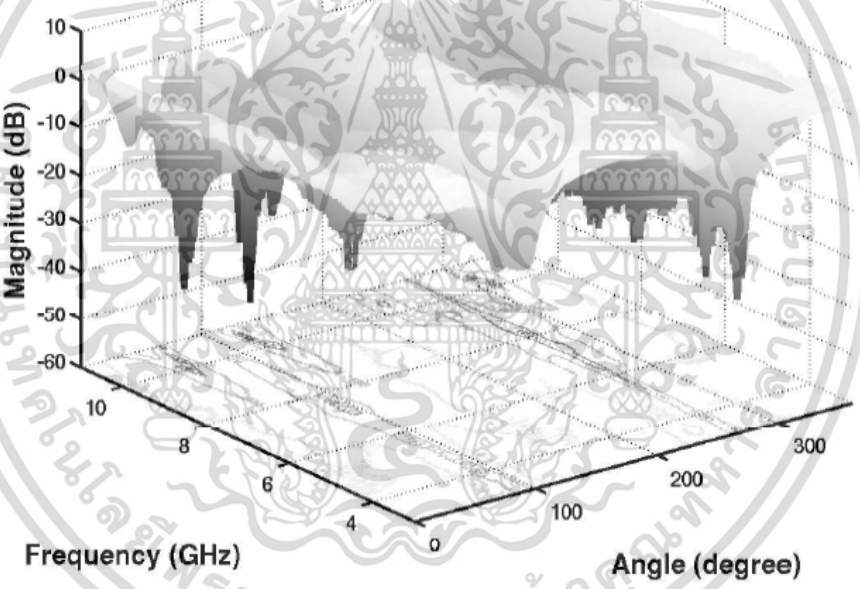
5.2.1 แบบแผนการทดลองวัดฟังก์ชันการถ่ายโอนแถบกว้างยิ่ง

จากการทดลองภายในห้องไร้การสะท้อนของคลื่นเพื่อลดผลกระทบจากการสะท้อนของคลื่นในบริเวณแต่ละด้านของห้องโดยกำหนดให้สายอากาศทางด้านรับเป็นแบบเส้นตัวนำกลางคดเคี้ยวและสายอากาศทางด้านส่งเป็นแบบกรวยคู่ ซึ่งมีลักษณะและขั้นตอนการวัดดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 โดยผลที่ได้จากการวัดจะแบ่งเป็น 2 กรณีคือ กรณีมีร่างกายมนุษย์ประกอบด้วย และกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์ในมุมต่าง ๆ ตั้งแต่ 0 องศา ถึง 360 องศา นำข้อมูลที่ได้จากการวัดไปวิเคราะห์และประเมินผล ด้วยการเลียนแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ทำให้สามารถแสดงให้เห็นถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นในลักษณะต่าง ๆ ของการศึกษาวิจัยได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

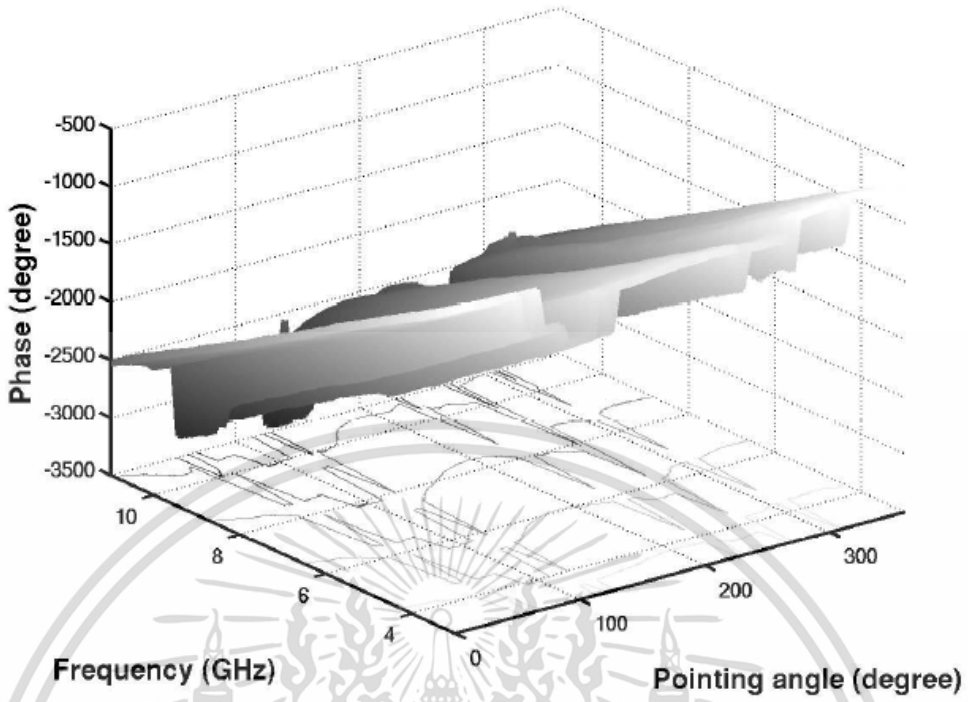
ในรูปที่ 5.1 ได้แสดงขนาด และรูปที่ 5.2 ได้แสดงเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณส่งผ่านกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์ ส่วนในรูปที่ 5.3 และรูปที่ 5.4 ได้แสดงขนาดและเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณส่งผ่านกรณีที่มีร่างกายมนุษย์ประกอบด้วย ซึ่งสามารถเห็นได้อย่างชัดเจนถึงลักษณะของความถี่ของฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณแต่ละองศาโดยกรณที่ไม่มีร่างกายมนุษย์ก็เปลี่ยนแปลงไปตามความถี่และโครงสร้างของสายอากาศ ส่วนในกรณีที่มีร่างกายมนุษย์ก็เปลี่ยนแปลงไปตามความถี่และผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ ที่ได้แสดงดังรูป

โดยที่ขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่านของช่องสัญญาณและเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านของช่องสัญญาณ เฟสที่ได้จะเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่และมีความเป็นเชิงเส้นยกเว้นช่วง 90 องศาถึง 200 องศา ไม่เป็นเชิงเส้นเนื่องจากการบดบังของร่างกายมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่มุม 180 องศา ร่างกายมนุษย์บดบังอย่างสมบูรณ์เห็นถึงความแตกต่างที่เข้ามาถึง ณ ตำแหน่งสายอากาศด้านรับ

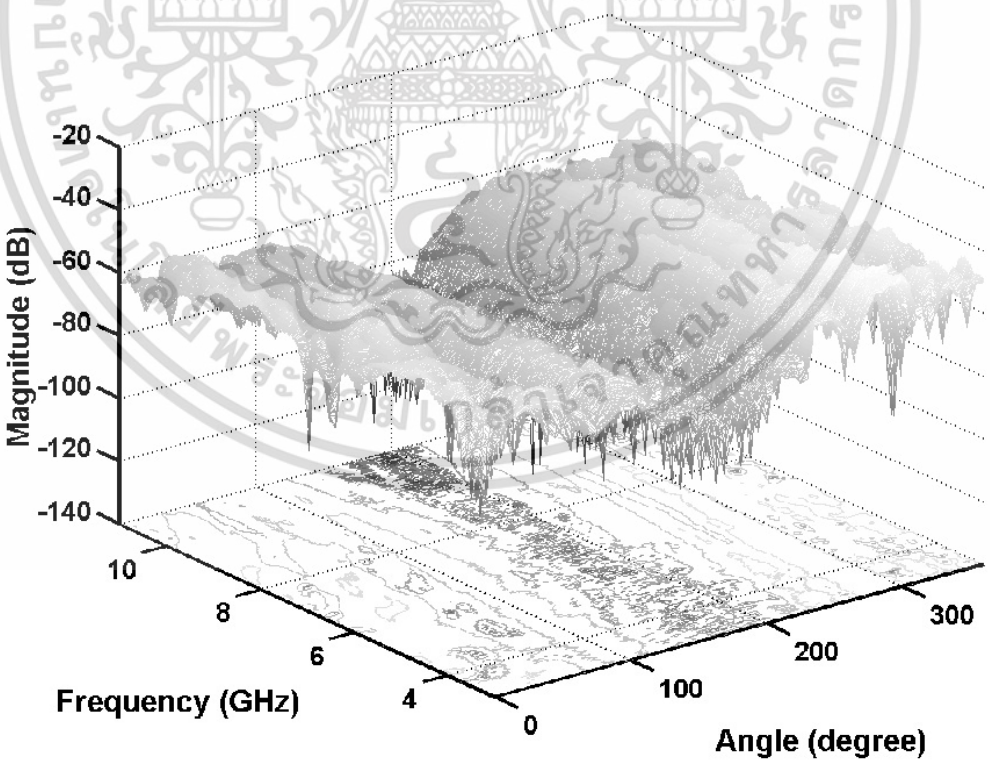


รูปที่ 5.1 ขนาดฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

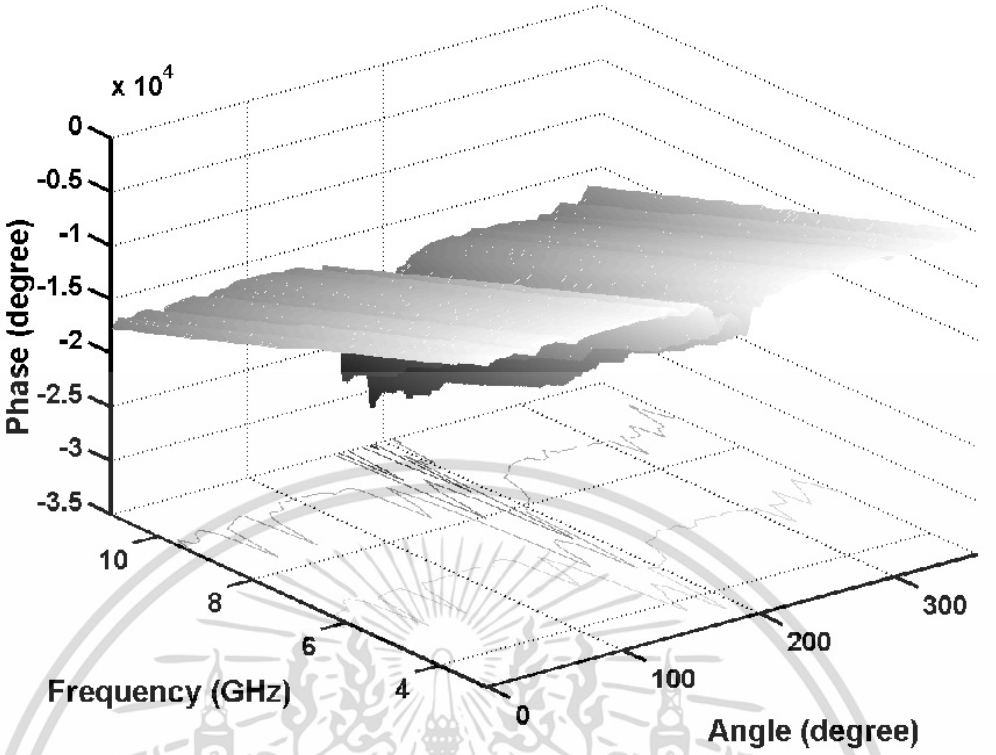


รูปที่ 5.2 เฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์



รูปที่ 5.3 ขนาดฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณที่มีร่างกายมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

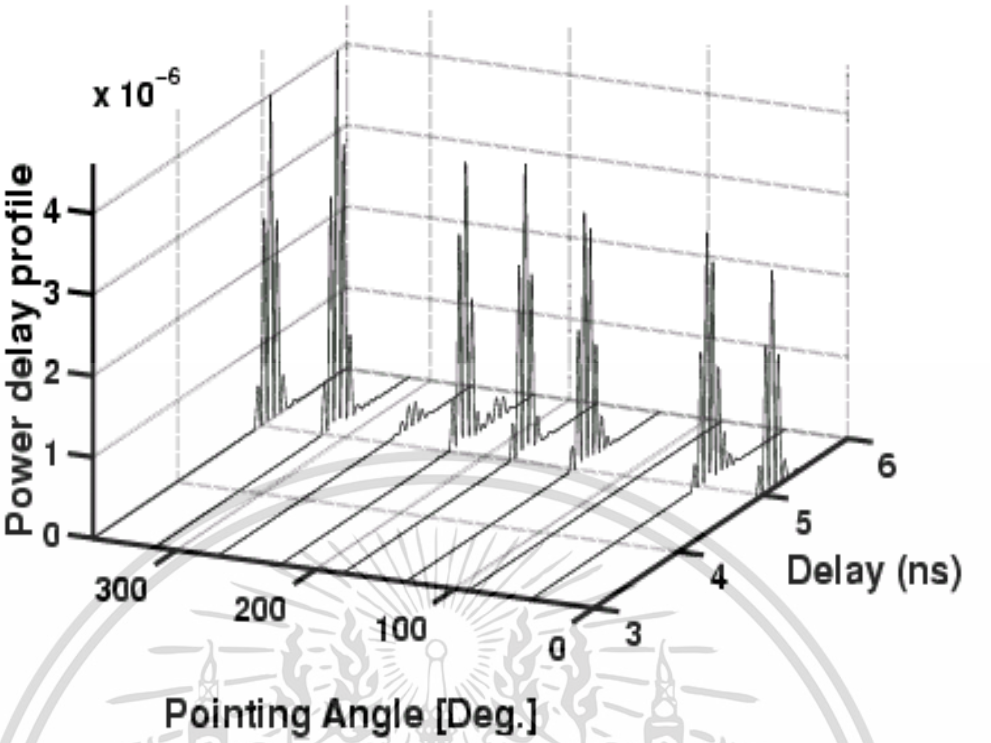


รูปที่ 5.4 เฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณที่มีร่างกายมนุษย์

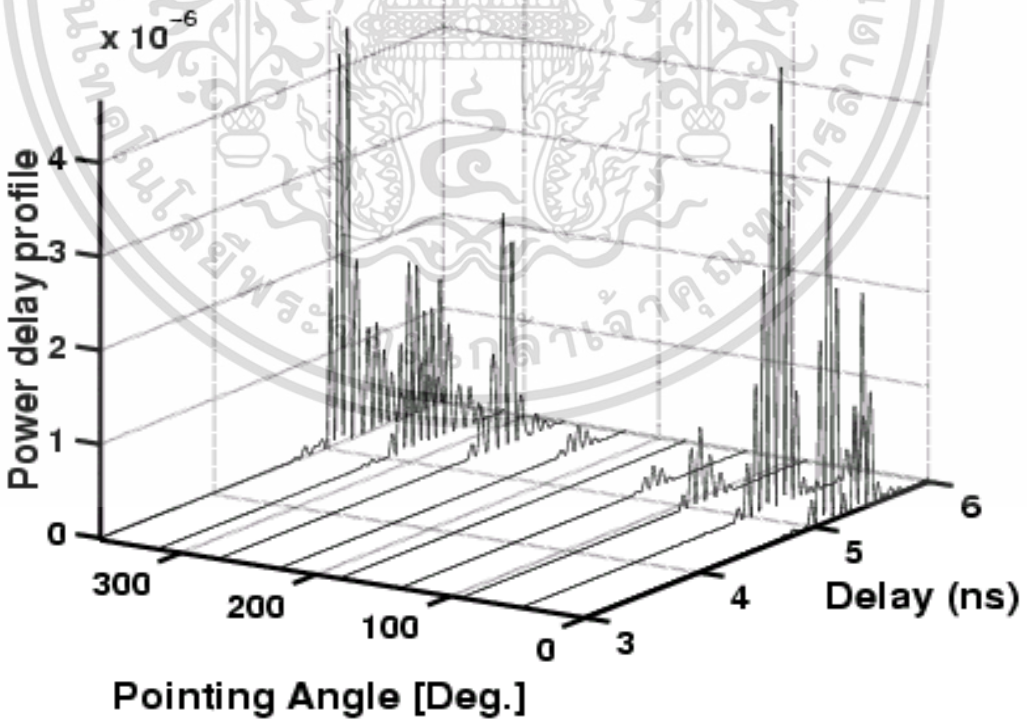
5.2.2 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ

ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณการส่งผ่านแถบกว้างยิ่งนั้นจะแสดงในรูปแบบของกราฟ 3 แกนคือ เวลาที่ใช้ในการเดินทาง ระดับกำลังงานของสัญญาณที่รับได้และมุมที่ทำการวัดโดยพิจารณาในสองกรณีคือ กรณีที่ไม่มีผลและมีผลจากร่างกายมนุษย์ ซึ่งนำมาเปรียบเทียบกันเพื่อหาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5.5 และ 5.6 ตามลำดับ จากรูปจะเห็นได้ว่า ในกรณีที่ไม่มีผลจากร่างกายมนุษย์นั้นสัญญาณเดินทางมาถึงด้านรับใช้เวลาเท่ากันคือประมาณ 5 นาโนวินาทีโดยมีระดับของสัญญาณที่ต่างกันตามมุมที่ทำการหมุนสายอากาศด้านรับซึ่งที่มุม 90 และ 270 องศานั้นจะมีระดับของสัญญาณต่ำกว่ามุมอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะทางโครงสร้างของสายอากาศ ส่วนในกรณีที่มีผลจากร่างกายมนุษย์นั้นจะเห็นได้ว่าระดับของสัญญาณในแต่ละมุมนั้นลดลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่มุม 180 องศาระดับของสัญญาณจะต่ำที่สุดเนื่องจากผลกระทบที่เกิดการบดบังของร่างกายมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 ภาพตัดข้างการประวิงกำลังงานที่ไม่มีร่างกายมนุษย์



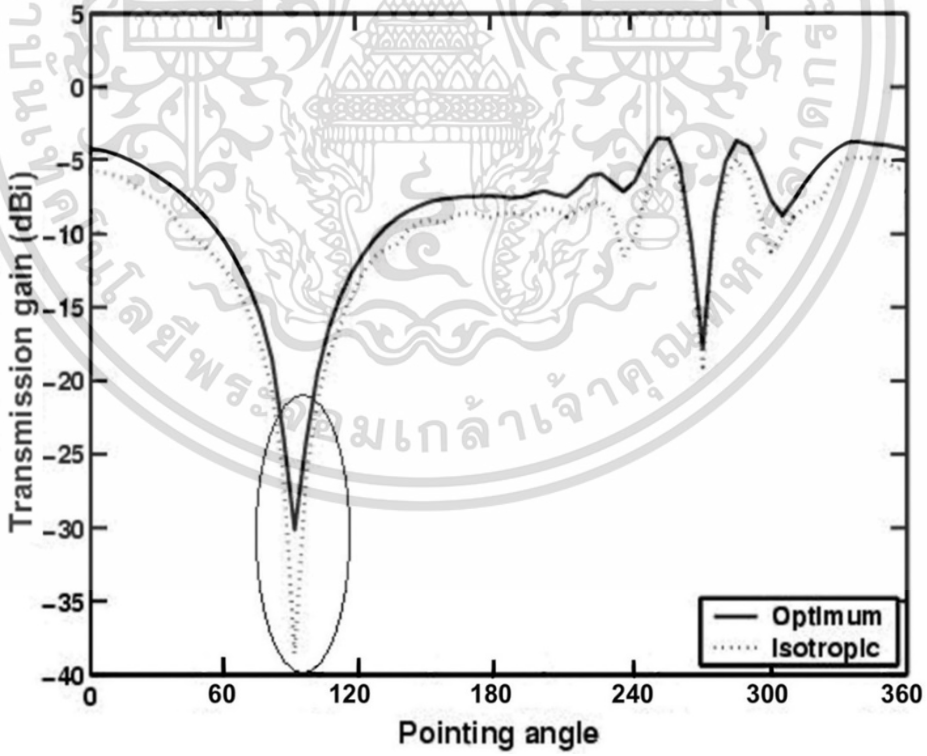
รูปที่ 5.6 ภาพตัดข้างการประวิงกำลังที่งานมีร่างกายมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3 อัตราการขยายสัญญาณในการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่ง

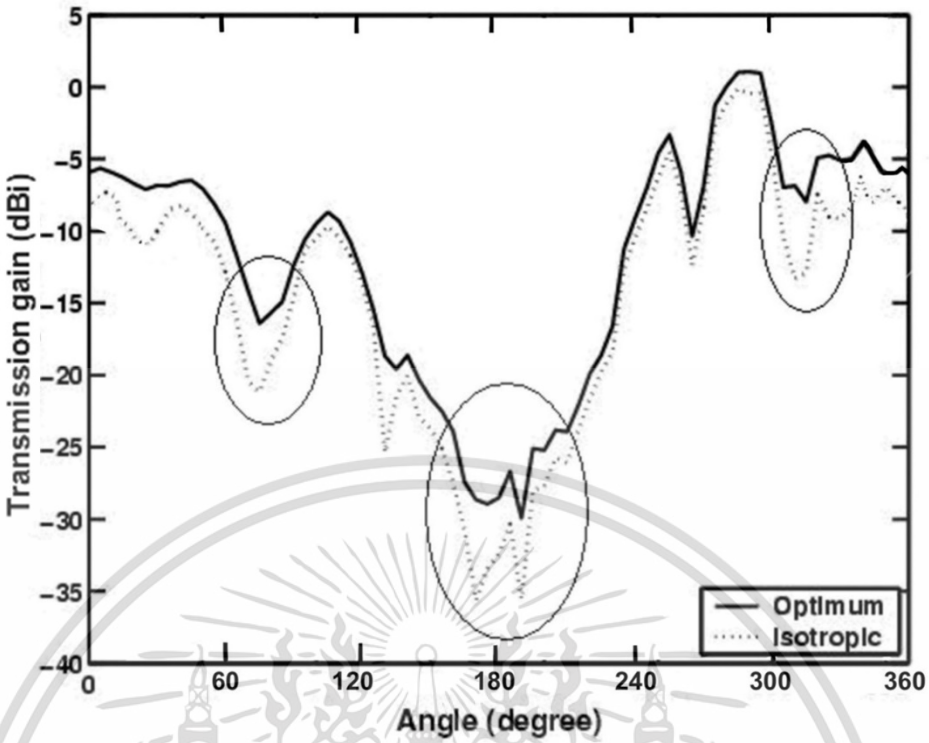
อัตราการขยายของสัญญาณการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่งในแต่ละมุมของสายอากาศด้านรับที่ได้ทำการวัดและนำมาประเมินผลเปรียบเทียบค่าที่ดีที่สุด กับค่าอัตราการขยายของสายอากาศแบบไอโซโทรปิก ในกรณีที่ไม่มีผลต่อร่างกายมนุษย์ และที่มีผลต่อร่างกายมนุษย์ ดังแสดงในรูปที่ 5.7 และ 5.8 ตามลำดับ จากรูปที่ 5.7 แสดงให้เห็นถึงค่าอัตราการขยายในการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่งกรณีที่ไม่มีผลต่อร่างกายมนุษย์ จะมีค่าสูงสุดตอบสนองที่มุม 0 องศา, 180 องศา และ 360 องศา ซึ่งรวมถึงด้านข้างของสายอากาศและจะมีค่าต่ำสุดที่มุม 90 องศา และ 270 องศา และจากรูปที่ 5.8 แสดงให้เห็นถึงค่าอัตราการขยายในการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่งกรณีที่มีผลต่อร่างกายมนุษย์ ค่าสูงสุดตอบสนองที่มุม 0 องศา, 270 องศา และ 360 องศา ซึ่งรวมถึงด้านข้างของสายอากาศและจะมีค่าต่ำสุดที่มุม 180 องศา

ความแตกต่างระหว่างอัตราการขยายการส่งผ่านของสัญญาณที่ใช้การสหสัมพันธ์ด้วยสัญญาณที่รับได้แบบ Optimum และการสหสัมพันธ์สัญญาณไอโซทรอปิกจะเป็นการระบุปริมาณความผิดเพี้ยนของรูปคลื่น จากรูปที่ 5.7 ในกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์จะเห็นว่ามุม 90 องศา จะมีการผิดเพี้ยนของคลื่นสูงสุด และในรูปที่ 5.8 ในกรณีที่มีร่างกายมนุษย์ มุมที่ 75 องศา, 170 องศา และ 312 องศา จะมีการผิดเพี้ยนของคลื่นสูงสุด



รูปที่ 5.7 อัตราขยายของการส่งผ่านช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งในกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 อัตราขยายของการส่งผ่านช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งในกรณีมีร่างกายมนุษย์

5.3 สรุป

บทนี้ได้แสดงผลการทดลองวิจัยและการประเมินผลเปรียบเทียบช่องสัญญาณการส่งแถบกว้างยิ่งที่ได้จากการวัดจริงตามขั้นตอนในบทที่ 4 ซึ่งได้ทำการทดลองภายในห้องไร้การสะท้อน โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ทำการวัดและบันทึกผลฟังก์ชันการถ่ายโอน ภาพหน้าตัดข้าง การรประวิงเวลากำลังงาน และอัตราขยายของการส่งผ่าน โดยได้เปรียบเทียบในกรณีที่มีร่างกายมนุษย์และไม่มีร่างกายมนุษย์ และนำผลที่ได้จากการวัดจริงมาประเมินผลด้วยการประยุกต์ใช้สูตรการส่งผ่านของฟรีส อีกได้นำเสนอเครื่องรับแบบแมตช์ที่เหมาะสมที่สุดด้วย สำหรับการประเมินผลเปรียบเทียบระหว่างเครื่องรับแมตช์สัญญาณที่เหมาะสมที่ใช้สายอากาศจริงและเครื่องรับแบบแมตช์ที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้สายอากาศแบบไอโซทรอปิก จากผลการทดลองวิจัยและประเมินผลของช่องสัญญาณการส่งผ่านแถบกว้างยิ่ง เห็นได้ว่าร่างกายมนุษย์มีผลต่อช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งมาก และมีผลกระทบจากการบดบังสัญญาณด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
สรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 กล่าวนำ

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการประเมินผลประสิทธิภาพช่องสัญญาณการส่งผ่านแถบกว้างยิ่งที่เหมาะสมที่สุดกรณีไม่มีร่างกายมนุษย์และกรณีมีร่างกายมนุษย์ สำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ และได้เสนอเครื่องรับแบบแมตช์เพื่อให้ได้อัตราส่วนสัญญาณส่งต่อสัญญาณรบกวนเหมาะสมที่สุด โดยการทดลองวัดจริงด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์เป็นอุปกรณ์หลักในการวัดและบันทึกผล สำหรับการจำลองวัดและวัดจริงในห้องไร้การสะท้อนของคลื่นและใช้สายอากาศสองชนิดในประเมินผลการทดลองวัด ซึ่งแสดงไว้ในบทที่ 4 โดยใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ทางด้านส่งและทางด้านรับเป็นสายอากาศเส้นตัวนำกลางคตเคี้ยวซึ่งเป็นสายอากาศที่ตอบสนองแถบความถี่กว้างและมีขนาดเล็ก นำผลที่ได้จากการวัดมาประเมินผลเปรียบเทียบโดยการประยุกต์ใช้สูตรการส่งผ่านของฟรีสมีหลายพารามิเตอร์ เช่น ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน อัตราการขยายส่งผ่าน ขนาดและเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านของช่องสัญญาณ โดยทางด้านรับได้เสนอเครื่องรับแมตช์สองแบบ คือ เครื่องรับแมตช์สัญญาณที่รับได้และเครื่องรับแบบแมตช์ไอโซทรอปิก โดยแสดงผลการเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่และที่มีการเปลี่ยนแปลงในเชิงมุมตั้งแต่ 0 องศาถึง 360 เปรียบเทียบในกรณีที่มีร่างกายมนุษย์และไม่มีร่างกายมนุษย์ แสดงผลไว้ในบทที่ 5

6.2 สรุปผลของการศึกษาทดลองวิจัย

6.2.1 การวิเคราะห์ช่องสัญญาณการส่งผ่านกรณีไม่มีผลกระทบจากร่างกายมนุษย์

คุณสมบัติของช่องสัญญาณส่งผ่านแถบกว้างยิ่งในแบบจำลองการวัดภายในห้องไร้การสะท้อนของคลื่นได้ใช้สายอากาศแถบกว้างสองชนิดด้วยกันดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 ส่วนการวิเคราะห์และประเมินผลข้อมูลจากการวัดในส่วนต่าง ๆ โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อแสดงถึงผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นและมีผลกระทบต่อช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งในกรณีที่ไม่มีร่างกายมนุษย์ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์เห็นได้ว่า ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน และอัตราขยายสัญญาณ ในมุม 90 องศา และ 270 องศา จะมีค่าต่ำสุดเนื่องจากคุณสมบัติของสายอากาศ และในส่วนของผิดเพี้ยนของสัญญาณจะมีค่ามากที่สุดในมุม 90 องศา

6.2.2 การวิเคราะห์ช่องสัญญาณส่งผ่านในกรณีมีผลกระทบจากร่างกายมนุษย์

ผลกระทบการบดบังจากร่างกายมนุษย์ในมุมต่าง ๆ พบว่าร่างกายมนุษย์ก็เป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อช่องสัญญาณ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเกิดการบดบังจากร่างกายมนุษย์อย่างสมบูรณ์หรือที่มุม 180 องศา จากการวัดจะเกิดผลการเปลี่ยนแปลงที่รุนแรงต่อช่องสัญญาณ ซึ่งส่งผลกระทบต่อขนาด และเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอน ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานและอัตราขยายในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

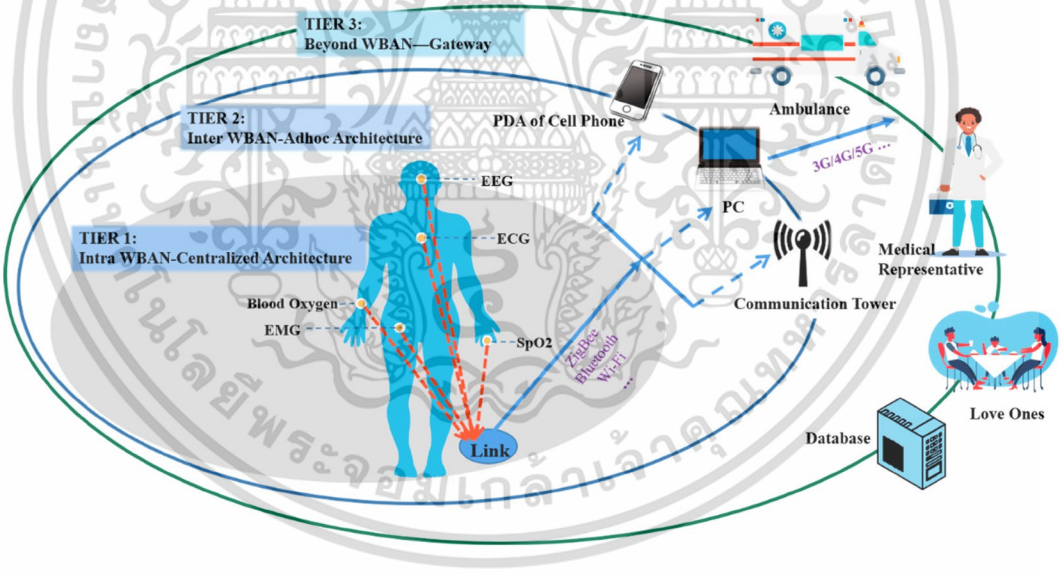
ส่งผ่านแถบกว้างยิ่ง ส่งผลให้คุณภาพของสัญญาณที่รับได้ลดลงอีกทั้งยังทำให้เกิดความเพี้ยนของสัญญาณรูปคลื่นอีกด้วย

6.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการวิจัยในอนาคต

จากการศึกษาถึงคุณลักษณะของช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งในกรณีที่มีผลจากร่างกายมนุษย์ โดย การประยุกต์ใช้สูตรของฟรีสสำหรับแถบกว้างยิ่งในการพิจารณา ส่วนทางด้านเครื่องรับใช้เครื่องรับแบบแมตช์ในการวิเคราะห์ โดยใช้คลื่นสัญญาณที่ส่งเป็นแบบแถบกว้างยิ่ง ตามข้อกำหนดของ FCC และได้ทำการทดลองวิจัยในห้องไร้การสะท้อน

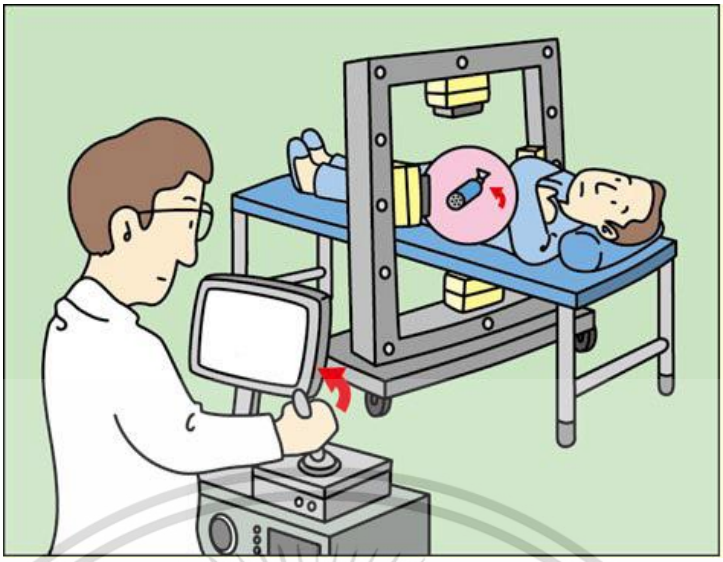
สำหรับงานวิจัยในอนาคตจะพิจารณาวัดจริงในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร และโครงข่ายภายในบ้านพักอาศัย ตลอดจนวิธีการวิเคราะห์แบบใหม่ที่มีความเหมาะสมที่สุดทั้งในย่านความถี่แถบกว้าง และความถี่แถบแคบ

ในการประยุกต์เอางานวิจัยไปพัฒนาในแนวทางอื่น ๆ ได้ด้วยเช่น ระบบแถบกว้างยิ่งสำหรับการประยุกต์ใช้ระบบสื่อสารไร้สายในทางการแพทย์ ด้วยระบบแถบกว้างยิ่งสำหรับการประยุกต์ใช้ในการหาตำแหน่ง และการเชื่อมโยงโครงข่ายมัลติมิเดียไร้สายระยะใกล้ เป็นต้น

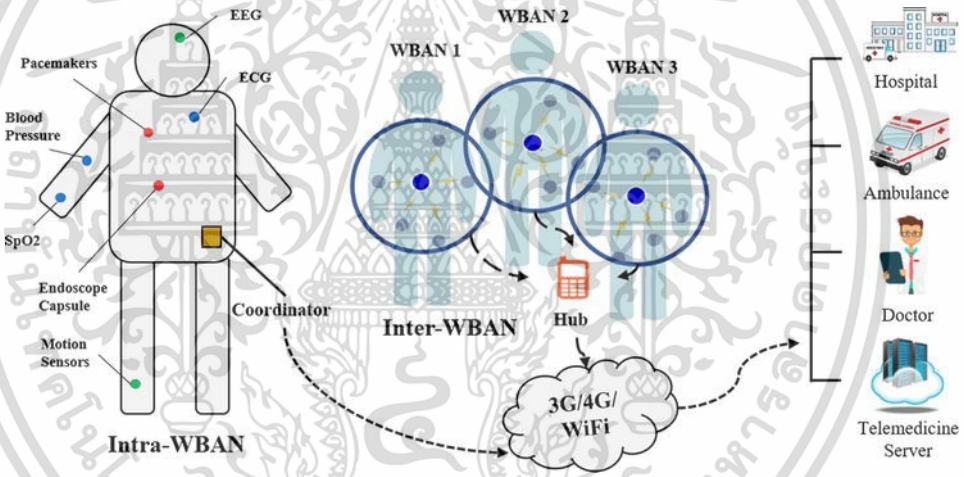


รูปที่ 6.1 ระบบแถบกว้างยิ่งสำหรับการประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ไร้สาย [21]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

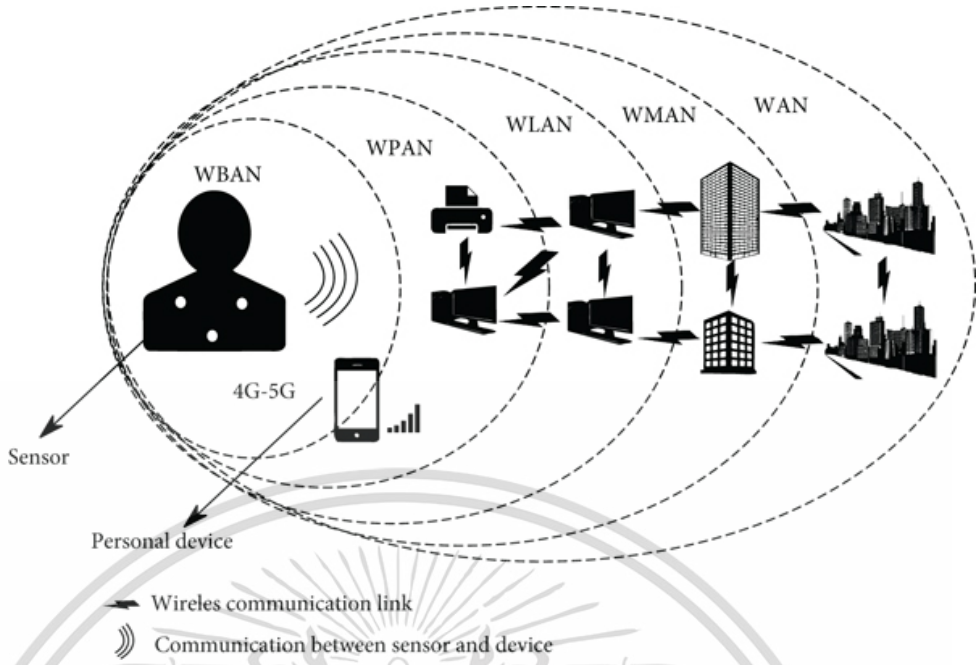


รูปที่ 6.2 การใช้แคบซูลที่สามารถเพิ่มใบพัดและประสิทธิภาพการควบคุมผ่านคันบังคับ [20]



รูปที่ 6.3 เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งสำหรับการประยุกต์ใช้ในการหาตำแหน่งบนร่างกายมนุษย์ [21]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.4 การเชื่อมโยงโครงข่ายมัลติมิเดียไร้สายระยะสั้น [19]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] F. Nekoogar. “Ultra-Wideband Communications: Fundamentals and Applications,” New Jersey: Prentice-Hall Inc., 2005.

[2] P. Pagani, F. Talom, P. Pajusco, B. Uguen, “Ultra WideBand Radio Propagation Channels,” John Wiley & Sons, Ltd, 2008.

[3] C. Heidari. WiMedia UWB Technology of Choice for Wireless USB and Bluetooth. John Wiley & Sons, Ltd, 2008.

[4] Jovanov, Aleksandar Milenkovic, Chris Otto and Piet C de Groen, “A wireless body area network of intelligent motion sensors for computer assisted physical rehabilitation,” Journal of Neuro Engineering and Rehabilitation, 2005.

[5] Skycross, Inc., “3.1-10 GHz UWB Antenna for Commercial UWB Applications,” http://www.skycross.com/

[6] FCC, “Revision of Part 15 of the Commission’s Rules Regarding Ultra-Wideband Transmission Systems,” FCC 02–48, Apr. 2002.

[7] M. Ghavami, L.B. Michael and R. Kohno, “Ultra Wideband Signals and Systems in Communication Engineering,” England: John Wiley & Sons Ltd, 2004

[8] Ian O., Matti H. and Jari I., “UWB Theory and Applications. England: John Wiley & Sons Ltd, 2004.

[9] J. Wang, “High-Speed Wireless Communications: Ultra-wideband, 3G Long Term Evolution, and 4G Mobile Systems,” 2008.

[10] Gemtek Technology Inc., “UWB Wireless USB Dongle WUWBD-101 WiMedia-based Ultra Wideband Product,” http://www.gemtek.com/

[11] Focus Enhancements, Inc., http://www.fdbnetwork.com/FocusEnhancements

[12] Y. Rujiphatcharakul, S. Teawchim, S. Promwong, “Characterization of UWB Transmission Model with Human Body for Wireless Medical Applications,” ISMAC, Philippines, 8-9 September 2010

[13] S. Promwong and W. Hachitani, and J. Takada, “Free Space Link Budget Evaluation of UWB-IR Systems,” 2004 International Workshop on Ultra Wideband Systems Joint with Conference on Ultra Wideband Systems and Technology (Joint UWBST&IWUWBS2004), pp. 312-316, May 18-21, 2004.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

[14] T. S. Rappaport, “Wireless Communications: Principles and Practice,” 2nd Edition:Prentice Hall, 2001.

[15] S. J. Orfanidis, “Electromagnetic Waves and Antennas ,June 2004

[16] T. Sreewattanapong, S. Promwong, “Evaluation of Ultra Wideband Impulse Radio Transmission Loss due to Laptop Computer,” MICC, Kuala Lumpur, Malaysia, 15-17 December. 2009.

[17] http://www.skycross.com/Products/PDFs/SMT-3TO10M-A.pdf

[18] Medical, Health Care Drive Wireless Innovations, Jun 26, 2007

[19] http://www-emt.tu-ilmenau.de/ukolos/apps_lo.php

[20] http://web-japan.org/kidsweb/hitech/capsule_endoscopes/002.html

[21] H-B. Li, K. Y. Yazdandoost, B. Zhen, “Wireless Body Area Network,” River Publishers, 2010.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก
บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวิทยานิพนธ์

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติ

[1] A. Chaisang and S. Promwong, “Experimental Evaluation Scheme of Ultra-wideband Human Body Transmission Model for Wireless Body Area Network,” Sensor and Materials, Vol. 30, No. 10(1), pp. 2211-2220, 2018.

บทความที่ได้นำเสนอในการประชุมวิชาการนานาชาติ

[1] A. Chaisang and S. Promwong, "Body Area Network Transfer Function Measurement with Frequency Band From 3 GHz to 9 GHz," 2019 Joint International Conference on Digital Arts, Media and Technology with ECTI Northern Section Conference on Electrical, Electronics, Computer and Telecommunications Engineering (ECTI DAMT-NCON), Nan, Thailand, 2019, pp. 119-123, doi: 10.1109/ECTI-NCON.2019.8692253.

[2] A. Chaisang and S. Promwong, "Optimization of HB-UWB Transmission Waveform for BAN Applications," 2018 Global Wireless Summit (GWS), Chiang Rai, Thailand, 2018, pp. 315-318, doi: 10.1109/GWS.2018.8686566.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Volume 30 Number 10(1) 2018

ISSN 0914-4935
CODEN: SENMER

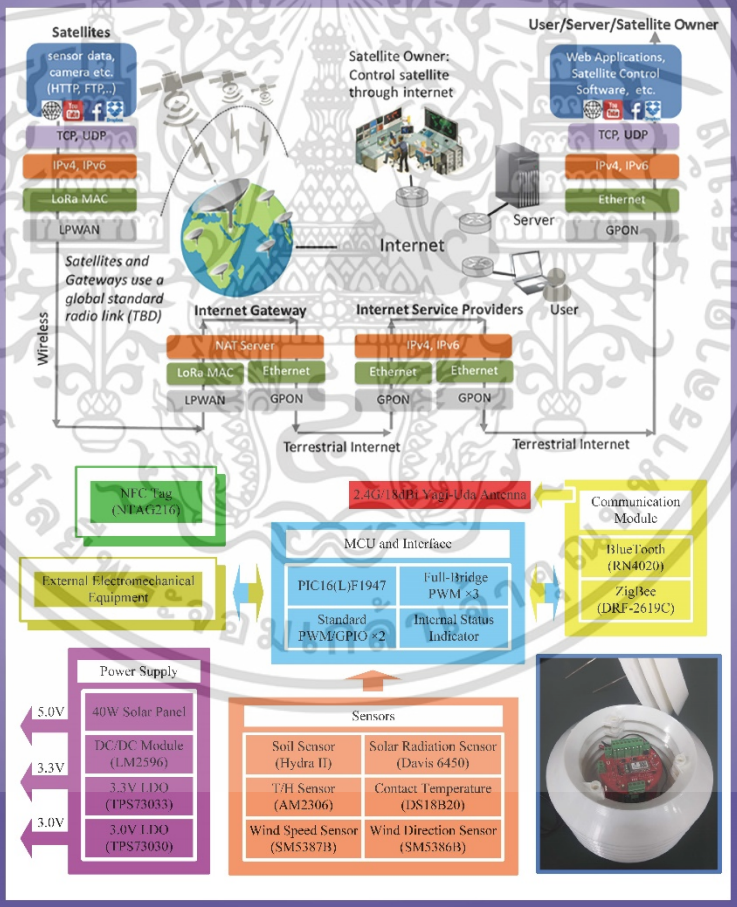
Sensors and Materials

An International Journal on Sensor Technology

EDITOR-IN-CHIEF
M. Ishida

EDITORS
J. Wilde K. Toko S. Roy

ASSOCIATE EDITORS
K. Maenaka K. Mitsubayashi



MYU

Sensors and Materials
Vol. 30 No. 10(1) (2018) 2161–2312

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sensors and Materials, Vol. 30, No. 10 (2018) 2211–2220 2211
MYU Tokyo

S & M 1670

Experimental Evaluation Scheme of Ultra-wideband Human Body Transmission Model for Wireless Body Area Network

Aditep Chaisang and Sathaporn Promwong*

Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
1 Soi Chalongkrung 1, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

(Received December 18, 2017; accepted September 11, 2018)

Keywords: UWB, UWB-HB, UWB-IR, WBAN, impulse radio

The body area network (BAN) working on IEEE 802.15.6 is a wireless short-range communication system that is smaller in coverage than the personal area network (PAN) IEEE802.15.3a. A wireless body area network (WBAN) is a wireless technology with a human body that is becoming a key part of short-range radio wave systems and wireless medical technology. The transfer function characteristics of the human body and the transmission loss due to the human body should be studied. Short-range radio wave applications with a human body are more complicated than additional uses. Therefore, realizing the distribution channel characteristics of the human body with ultra-wideband (UWB) technology is important. UWB technology has a very large bandwidth, low power, and low cost, which can be used in short-range systems. In this paper, we present the characterization measurement data of the UWB-HB channel transfer function based on the human body effect with and without human body in WBAN system. In this study, we maximize the signal-to-noise ratio (SNR) and contemplate the matched filter at the receiver. The outcomes are analyzed and evaluated on the basis of Friis' formula. The proposed method achieves very precise results and is convenient for the evaluation and design of the waveform of WBAN transmission in wireless medical applications and BAN systems, mainly focusing on the input waveform effect.

1. Introduction

Wireless body area network (WBAN) communication based on the wireless ultra-wideband (WUWB) technology has become a major topic for short-range communication systems with low-power and low-cost systems.[1,2] The WUWB is dissimilar from additional impulse radio technologies. Instead of using the narrowband like other RF technologies, WUWB transmits low power spectral density (PSD) and tiny pulses in the range of its operating spectrum. The WUWB is an exclusive and new operation of a recently licensed frequency spectrum. The Federal Communication Committee (FCC) has regulated the occupied bandwidth equal to or more than 500 MHz or a bandwidth fractional frequency equal to or more than 0.2 working and frequency spectrum for ultra-wideband (UWB) signal equal to 7.5 GHz, which varies from 3.1–10.6

*Corresponding author: e-mail: sathaporn.pr@kmitl.ac.th
https://doi.org/10.18494/SAM.2018.1853

ISSN 0914-4935 © MYU K.K.
https://myukk.org/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GHz.[3] The bandwidth of UWB can be written as

$$B_f(f) = 2\frac{(f_H - f_L)}{f_H + f_L} \geq 0.2. \quad (1)$$

The low f_L is the lowest frequency and f_H is the highest frequency at −10 dB. The FCC stated that the PSD of the UWB signal should not be over −41.3 dBm/MHz or over the FCC part 15 limits, which made the UWB signal to be considered as noise for other radio communication systems. Moreover, the UWB communication system can coexist without involvement with other wireless communication technologies. Therefore, the UWB impulse radio technology is a promising contender that may be used for commercial uses owing to its low budget and low power transmission within an indoor network such as wireless personal area networks (WPANs).[4]

In wireless communication in a narrowband, Friis' formula is expansively used to analyze the path loss in free space.[5] Afterward, for WUWB communication, the complex form of Friss' formula has emerged to analyze the transmission waveform.[6–8] The optimum WUWB receiver is used as the matched filter.[9–11] To derive the signal-to-noise ratio (SNR) gain, the rectangular waveform is used in a WUWB free space channel;[12] however, the discussion about the transmission channel measurement and WUWB antennas is insufficient.

WBAN has become the main short-range radio wave communication system. WBAN helps in the development of the health care industry and biological and information technologies. In the ideal term of WBAN, the wireless networks should have a working range away from the human body between 1–4 m. WBAN is categorized for applications such as medical and nonmedical uses. Factors such as reliability and power consumption are essential for WBAN uses in medical treatment. In the case of nonmedical uses, sound and image transmissions require a high-speed data transfer rate. Because it relies on the location of a device, the application of WBAN should be grouped as an implant and wearable device. For most medical treatments that can be categorized as an implant case, wireless amusement and entertainment applications can be categorized as a wearable device.[13–15]

In IEEE 802.15.6 TG, the standard of BAN has been described, including details about the OSI layer for BAN. To develop a communication link, the channel modeling is essential. The WBAN channel models are sorted as in-body, on-body, and off-body. Even so, a right model explains the WBAN channel characteristics but is still not available. In this point, it is not easy to design and evaluate the proper WUWB network.

In this research, we evaluated the UWB-HB transmission waveform for WBAN with Friis' formula that can be adapted for UWB impulse radio systems. However, in the evaluation of waveform distortion, the UWB-HB transfer function and a brief conclusion on the experimental study of the UWB-HB transmission model are considered in this paper. Besides, in this paper, we also use an extended formula of Friis, which is applied to the UWB-HB system model to evaluate the transfer function and measure the transmission transfer function with the vector network analyzer (VNA). The UWB-HB transmission waveform model is acceptable to be used in wireless medical research.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. UWB-HB Transmission Model

In this research, we consider the UWB-HB system link budget in free space evaluation. In a narrowband system, to calculate the link budget of the propagation loss in free space, Friis' formula usually is used as a suitable technique.[6] Therefore, for the WUWB transmission system, it cannot be directly relevant to the formula that is represented in terms of the frequency function. Furthermore, because of the antenna frequency characteristics and the distortion of waveform,[7] we had discussed and recommended the time-domain antenna effective length. One may treat the special cases of the steady UWB-HB gain and the steady aperture. In a narrowband line-of-sight (LOS) channel in the communication system, Friis' formula had been applied as

$$G_{Friis}(f)=\frac{P_r(f)}{P_t(f)}=G_f(f)G_r(f)G_t(f), \tag{2}$$

where $G_t(f)$ and $G_r(f)$ are the Tx and Rx gains, respectively.

$$G_f(f)=\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \tag{3}$$

Here, $G_f(f)$ is the propagation gain in free space, c is the velocity of light, $\lambda=\frac{c}{f}$ is the wavelength, and f is frequency, and the separate distance between Tx and Rx antennas is shown in Fig. 1.

However, note that Eq. (2) is satisfied only at some precise frequency, and cannot immediately be applied to wireless UWB communication. Friis' formula is modified to analyze the waveform transfer function as well.

The impulse input is convolution and the pulse shaping at the transmitter side can express the input signal waveform $v_i(t)$. It is $h_i(t)$ as

$$v_i(t)=\delta(t)\times h_i(t) \tag{4}$$

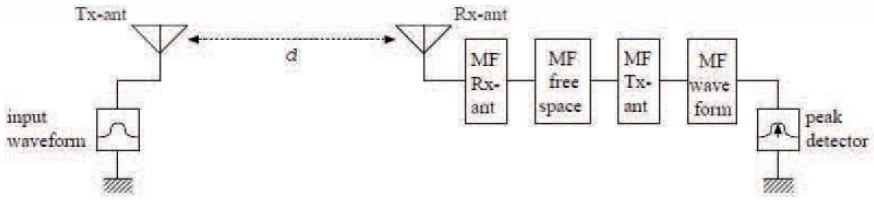


Fig. 1. UWB-HB system model for WBAN system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

and

$$\int_{-\infty}^{\infty} h_i^2(t)dt = \int_{-\infty}^{\infty} |H_i(f)|^2 df = 1. \tag{5}$$

The UWB-HB channel transfer function of the receiver introduces the matched filter $H_{MF}(f)$ to maximize the SNR, as shown in Eq. (6).

$$H_{MF}(f) = \frac{H^*_{e\text{-}Friis}(f)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H^*_{e\text{-}Friis}|^2 df}}. \tag{6}$$

In the isotropic case,

$$H_{MF,Iso}(f) = \frac{H^*_{e\text{-}Friis}(f)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H^*_{e\text{-}Friis}|^2 df}}, \tag{7}$$

which fulfills the condition of the output noise power:

$$\int_{-\infty}^{\infty} |H_{MF}(f)|^2 df = 1. \tag{8}$$

In this illustration, the channel transfer functions of the received signal waveform are $H_{e\text{–}Friis}(f)$ and $h_{e\text{–}Friis}(t)$, and E_i = 1, the waveform output. The output waveform by using a filter with matched $v_{MF}(t)$ is

$$\begin{aligned} v_{MF}(t) &= h_{e\text{-}Friis}(t) \times h_{MF}(t) \\ &= \frac{h_{e\text{-}Friis}(t) \times h_{MF}(-t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} h^2_{e\text{-}Friis}(t)dt}}, \end{aligned} \tag{9}$$

and in the isotropic case,

$$\begin{aligned} v_{MF,Iso}(t) &= h_{e\text{-}Friis,Iso}(t) \times h_{MF,Iso}(t) \\ &= \frac{h_{e\text{-}Friis,Iso}(t) \times h_{MF,Iso}(-t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} h^2_{e\text{-}Friis,Iso}(t)dt}}, \end{aligned} \tag{10}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

in the matched filter output waveform $v_{MF}(t)$,

$$v_{MF}(f) = H_{e\text{-}Friis,Iso}(f) H_{MF}(f) = \frac{|H_{e\text{-}Friis}(f)|^2}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H_{e\text{-}Friis}(f)|^2 \, df}}, \tag{11}$$

and the maximum SNR as

$$\max_t v_{MF}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} V_{MF}(f) df = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H_{e\text{-}Friis}(f)|^2 df}. \tag{12}$$

Equation (12) is Friis' formula in the UWB-HB complex. This includes the antenna characteristics, free space propagation loss, and input signal waveform. From Eq. (12), it is clear that the antenna gain in free space cannot be explained in terms of UWB-HB gain in Eq. (2). Alternatively, the waveform effect that includes the transmission gain can be acquired from Eq. (12). The normalization with $H_{Iso}(f) = 1$ is evaluated for the reference isotropic antenna. The gain of UWB-HB transmission is defined as

$$G_{UWB} = \frac{\max_t v_{MF}(t)}{\max_t v_{MF,Iso}(t)}. \tag{13}$$

3. Experimental Evaluation Scheme

3.1 Experimental system

In this paper, the VNA was used to measure and record the result of transfer function.[16] In addition, this transfer function is a product of UWB antenna gains that are measured from the antenna transmitter (Tx) and the antenna receiver (Rx) in cases without and with a human body, which is work done in an anechoic chamber room.

3.2 UWB-HB transmission experimental setup

The experiments conduced in this research are separated into two models, i.e., with and without a human body. According to Fig. 2, the antenna with Tx is placed on the front of the human body and the body front of the Rx antenna. The Tx and the Rx antennas are facing away

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

from the human body. The model of measurement with the Tx and Rx antennas is placed on the human body. The Tx antenna is fixed and then the Rx antenna is rotated from 0 to 360 degree parts of the human body.

3.3 Transmitted signal waveform of UWB-HB system

In this study, the transmitted signal waveform communicates with FCC regulation UWB[3] from 3.1–10.6 GHz. The bandwidth and middle frequency bandwidth are f_b = 7.5 GHz and f_0 = 6.85 GHz, respectively. The transmission waveform is assumed by using an ASK single pulse with the frequency carrier f_0. To satisfy the required bandwidth of f_b, the pulse length was set to be $2/f_b$. Then, the Nyquist roll-off filter was used to limit the signal with the roll-off filter α = 0 in the distribution with the Gaussian model $\left(f_0 - \frac{f_b}{2}, f_0 + \frac{f_b}{2}\right)$. Figure 3 shows the waveform of the transmitted impulse of the UWB-HB system. The antenna transfer function was used to simulate the pulse waveform transmission.

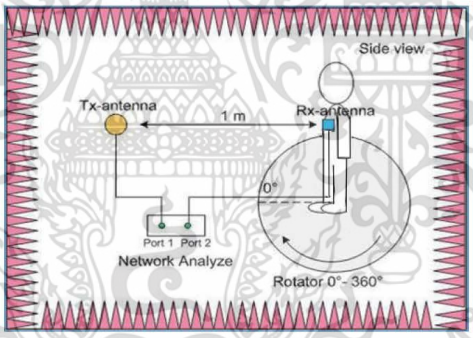
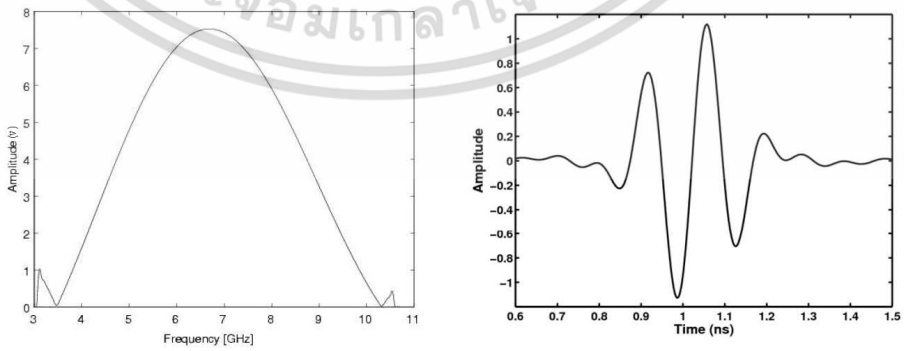


Fig. 2. (Color online) Experiment setup and UWB-HB antenna orientation.



(a) (b)

Fig. 3. Transmitted signal waveform of UWB-HB communication: (a) spectrum and (b) waveform.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 Parameters of experiments

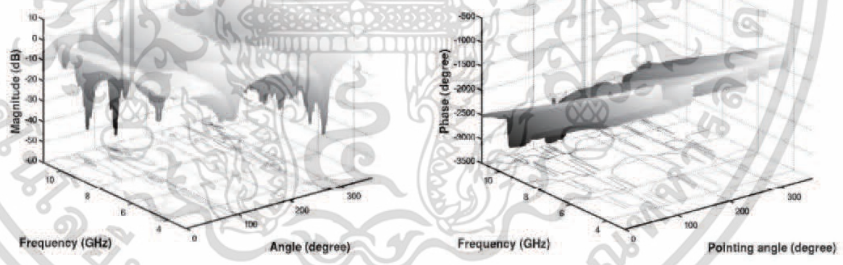
Table 1 shows the list of important parameters for the experiments. Note that the cable connectors that are connected to the antennas had been calibrated. Hence, the measured results include all the characteristics of the antennas.

4. Results and Discussion

The experimental result of graphical compilation is described in this section. Figures 4 and 5 show the magnitude and phase of the UWB-HB channel transfer function in the case

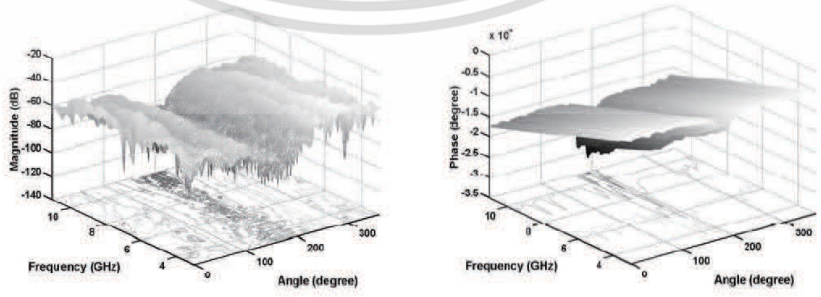
Table 1
Parameters of experiments.

Parameters	Value
Operating frequency span	3–11 GHz
Point of frequency	1601 points
Type of Tx antenna	Biconical
Type of Rx antenna	Meander line
Rx antenna orientation	0 to 360 degrees
Rotate step	5 degrees



(a) (b)

Fig. 4. UWB-HB transfer function without human body case: (a) magnitude and (b) phase.



(a) (b)

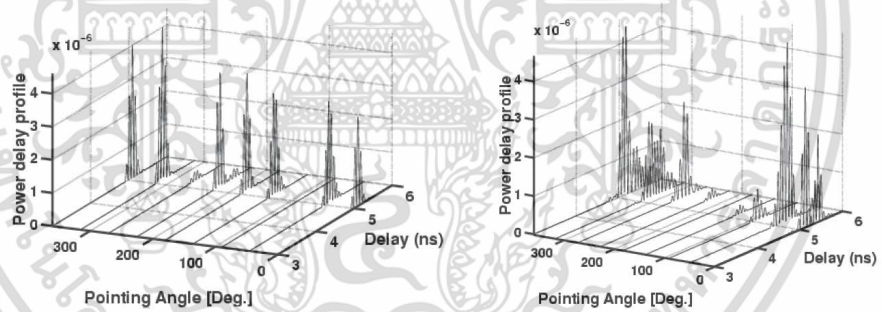
Fig. 5. UWB-HB transfer function with human body case: (a) magnitude and (b) phase.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

without and with a human body, respectively. In particular, at each pointing angle, the channel characteristic of the waveform transfer function is presented. In Fig. 4(a), the magnitude changes owing to the effect of the antenna characteristic. The phase is linear for the UWB-HB transfer function in Fig. 4(b). In Fig. 5(a), the magnitude is affected by the human body shadowing around 180 degrees. The phase is mostly linear except the angle affected by the human body shadowing, as shown in Fig. 5(b).

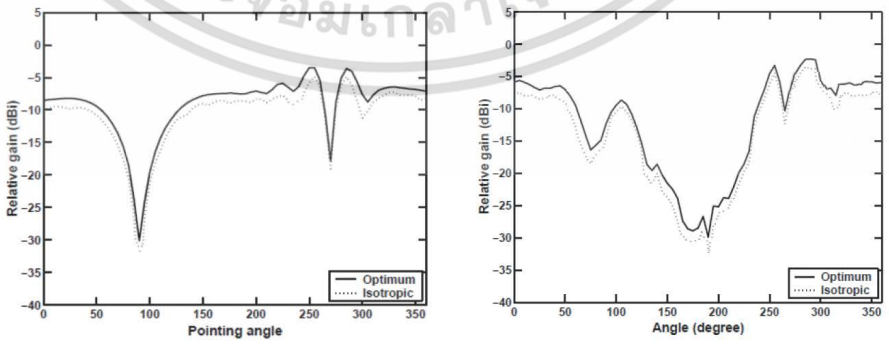
Figure 6 shows the result of power delay profiles, which are measured in the cases without and with a human body. The power delay particularly explains the frequency characteristics of the delay spread and transfer functions, the shadowing effects due to the human body into the UWB-HB antenna transfer function, and the waveform level at all pointing angles due to the distance from the antenna. In Fig. 6 (a), there are null and small power delay profiles at 90 and 270 degrees, respectively, because it is the edge of the antenna at these angles. For Fig. 6(b), the power delay profile is small and null from 135 to 225 degrees, which have the human body shadowing effect.

Figure 7 shows the UWB-HB transmission gain in the case without and with a human body. In the case without a human body, the delay characteristic value is slightly changed. The signal is higher, because multipath fading occurs in the case with a human body. In



(a) (b)

Fig. 6. Delay characteristic of the UWB-HB waveform (a) without body and (b) with body.



(a) (b)

Fig. 7. UWB-HB transmission gain: (a) without body and (b) with body.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fig. 7(a), the transmission in the case without a human body is null at 90 and 270 degrees because of the antenna characteristic. In Fig. 7(b), the transmission gain is null at 180 degrees due to the shadowing effect from the human body. In this research, the optimum matched filter is introduced as the receiver and the result in Fig. 7 shows the comparison between the optimum matched filter and the isotropic matched filter, in which the difference in the average transmission gain is less than 2 dB, meaning that the optimum matched filter can be used to evaluate the UWB-HB waveform transfer function.

5. Conclusion

In this work, we evaluated the UWB-HB waveform transfer function model for WBAN based on measurement data and the analysis using the complex form with the extended formula of Friis to consider the antenna performance and transmitted waveform. The matched filter is introduced to maximize the gain of SNR at the receiver side to obtain the best performance in WBAN communication, because the characteristic of the matched filter can increase the gain and there is no delay.

In the experimental system, we consider to use VNA to measure and record with a biconical antenna as Tx-antenna and a meander line as Rx-antenna. In the results, we evaluate the UWB-HB channel transfer function and the UWB-HB transmission gain under two conditions: without a human body and with a human body. The result is good to be based on the modified Friis' formula and the matched filter. The UWB-HB transmission gain and waveform distortion due to the human body effect at 0, 180, 270, and 360 degrees are known. The characteristics of UWB transmission impulse radio with the human body effect with this definition may be useful. In the waveform transmission, the performance is evaluated in terms of the UWB-HB channel transfer function and transmission gain for wireless BAN. In this research, it is a special case to study the theory for evaluating the UWB-HB at the best scenario. In future work, since the matched filter is difficult to implement in real practice, other receiver templates such as correlators can be considered.

Acknowledgments

The authors would like to thank Mr. Thanadol Tiengthong of KMITL for his help in the review of this paper and experiments and Prof. Jun-ichi Takada of the Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology, Japan, for letting us use their meander line antenna.

References

1 P. Pagani: Ultra-Wide Band Radio Propagation Channels (Wiley, Hoboken, 2008) pp. 21–23.
2 I. Oppermann, M. Hamalainen, and J. Iinatti: UWB Theory and Applications (Wiley, Chichester, 2004) p. 3.
3 Federal Communications Commission: Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding UWB Transmission Systems, First Report (FCC, Apr. 2002).
4 J. Misic and V. Misic: Wireless Personal Area Network: Performance, Interconnection and Security with IEEE 802.15.4 (Wiley, Chichester, 2008) pp. 3–12.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5 H. T. Friis: Proc. 1946 IRE (IRE, 1946) 254–256.
6 J. Takada, S. Promwong, and W. Hachitani: Technical Report of IEICE WBS2003-8. NW2003-20 (IEICE, 2003) 45–49.
7 S. Promwong, W. Hachitani, and J. Takada: Technical Meeting on Instrumentation and Measurement IM-03-35 (IEE, 2003) 37–41.
8 S. Promwong, W. Hachitani, J. Takada, P. Supanakoon, and P. Tangtisanon: 3rd Int. Symp. Communications and Information Technology (ISCIT) **1** (2003) 467–470.
9 X. Xu and R. M. Narayanan: 2003 IEEE Int. Geoscience and Remote Sensing Symp. (IGARSS) **7** (2003) 4525–4527.
10 S. Promwong, J. Takada, P. Supanakoon, and P. Tangtisanon: 2004 Int. Symp. Antenna and Propagation (ISAP, 2004) 97–100.
11 S. Promwong, J. Takada, P. Supanakoon, and P. Tangtisanon: IEEE TENCON 2004 on Analog and Digital Techniques in Electrical Engineering (IEEE TENCON, 2004) 125–128.
12 M. R. Yuce: Ultra-wideband and 60 GHz Communications for Biomedical Applications (Springer, New York, 2014) pp. 3–20.
13 K. M. S. Thotahewa, J. M. Redoute, and M. R. Yuce: Ultra Wideband Wireless Body Area Network (Springer, New York, 2014).
14 J.-M. Choi, H.-J. Kang, and Y.-S. Choi: Proc. FGCN '08 (IEEE, 2008) 263–266.
15 S. Promwong, J. Takada, P. Supanakoon, and P. Tangtisanon: 2004 Int. Symp. Antenna and Propagation (ISAP, 2004) 89–92.

About the Authors

Aditep Chaisang received his M.E. degree in applied physics and B.S. degree in telecommunication. He joined the Department of Information and Communication Engineering, Faculty of Engineering, Rambhaibanni Rajapat University. He is now pursuing a doctoral degree at the Faculty of Engineering, KMITL. His research interests are in the areas of wireless body area network, antenna and radio wave propagation, and UWB systems.

Sathaporn Promwong received his Ph.D. degree in communications and integrated systems from Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan, his M.E. degree in electrical engineering, and his B.Ind.Tech. degree in electronic technology from KMITL, Bangkok, Thailand, in 2009, 1999, and 1994, respectively. He is a lecturer in the Department of Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering, KMITL and a member of IEEE, IEICE, and ECTI. His research interests are in the areas of radio wave propagation, UWB technology, and antennas.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ECTI & DAMT NCON 2019

Certification of Appreciation

presented to

Best Paper Award

presented to the paper entitled

Body Area Network Transfer Function Measurement with Frequency Band From 3 GHz to 9 GHz

authored by

Aditep Chaisang and Sathaporn Promwong

at Joint International Conference on Digital Arts, Media and Technology with ECTI Northern Section Conference on Electrical, Electronics, Computer and Telecommunications Engineering
The Impress Nan Hotel, NAN, THAILAND
January 30 – February 2, 2019

(Prof.Kosin Chamnongthai, Ph.D.)
General Chair of ECTI DAMT and NCON 2019

The 4th International Conference on Digital Arts, Media and Technology
and 2nd ECTI Northern Section Conference on Electrical, Electronics, Computer and Telecommunications Engineering

Body Area Network Transfer Function Measurement with Frequency Band From 3 GHz to 9 GHz

Aditep Chaisang and Sathaporn Promwong

Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Ladkrabang, Bangkok 10520, THAILAND.
E-mail: aditep2512@yahoo.com and sathaporn.pr@kmitl.ac.th

Abstract— **Wireless technology for body area network (BAN) is significant interesting in the modern development of short range wireless communication network. Impulse characterization of ultra-wideband is important parameter that used to study in order to understand a signal propagation of BAN channel. Since the complexity of wireless human body applications are higher than another application. Anyway, it is important to understand the channel distribution characteristics due to human body effect. In this research report, transfer function of BAN channel at frequency 3 – 9 GHz have been presented as the characteristics of waveform transmission in case of with and without human body for apply to the development of short range wireless applications based on the measurement data of this report. To obtain the maximum value of signal to noise ratio (SNR), the matched filter was used as the optimum receiver for better signal quality and well evaluation of BAN system. The transmission equation of Friis was introduce to evaluate the measurement results in this report. The proposed method provides a higher precision and useful for the analysis and design of BAN channel to apply with the system of wireless medical system which focusing on the distortion of transmission signal.**

Keywords: BAN, UWB, WBAN, path loss, delay time

I. INTRODUCTION

BAN is become an important issue for the application in short range wireless technology due to the absorption rate and power consumption require [1,2]. BAN will able to apply by ultra-wideband (UWB) technology which have different benefits from other wireless communication technologies. The power spectrum density of UWB communication is lower than other narrowband communication and used impulse to transmit the signal. The federal communications commission of united states of America (FCC) had regulate a unique band of frequency which have wider bandwidth than other traditional RF communication systems. The bandwidth of UWB in USA is ranging from 3.1 GHz to 10.6 GHz [3]. The occupied bandwidth and fractional bandwidth of UWB had set to equal or greater than 500 MHz and 0.2, respectively. The fractional bandwidth can be given by

$$B_f(f) = 2\frac{(f_H - f_L)}{f_H + f_L} \geq 0.2, \quad (1)$$

when the lowest and higher operation frequency at -10 dB are f_L and f_H respectively.

According to the regulation of FCC part 15, the UWB power spectrum should not exceed than -41.3 dBm/MHz. Hence, the other wireless technology will take UWB waveform as the noise of its system. Thus, the benefits of WUB allow other wireless system to coexist with UWB system without the interference. Furthermore, wireless personal area network (WPAN) which commonly used in an indoor wireless system is convenient to apply with UWB technology due to its can use in commercial, low transmission power, and low cost [4].

We apply the equation of Friis because this equation is commonly used to evaluate the free space transfer function for narrowband communication systems [5]. To apply the equation of Friis to UWB technology, the equation of Friis is needed to modify to the complex form of the equation of Friis [6-8]. The optimum receiver has been introducing by matched filter to evaluate the maximum performance of UWB transmission system, [9-11]. However, the rectangular waveform has been derive to use with UWB propagation channel for achieve a suitable with theory waveform [12]. The transfer function and antenna for UWB are not consider as in Ref. 12.

BAN technology is become a key technology of wireless technology for short range systems. The biology technology engineering and information technology engineering are used in the development of the BAN technology. The coverage of BAN technology is consider used within 3 m from human body and able to apply the concept of short range communication networks. As state in the application of BAN, non-medical used applications and medical used applications are classified. The wireless BAN will be used in medical technology. The power consumption, absorption rate, and reliability are key factor requirement for BAN technology.

978-1-5386-8072-8/19/$31.00 ©2019 IEEE

Authorized licensed use limited to: King Mongkuts Institute of Technology Ladkrabang provided by UniNet. Downloaded on June 08,2023 at 19:44:17 UTC from IEEE Xplore. Restrictions apply.
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The 4th International Conference on Digital Arts, Media and Technology
and 2nd ECTI Northern Section Conference on Electrical, Electronics, Computer and Telecommunications Engineering

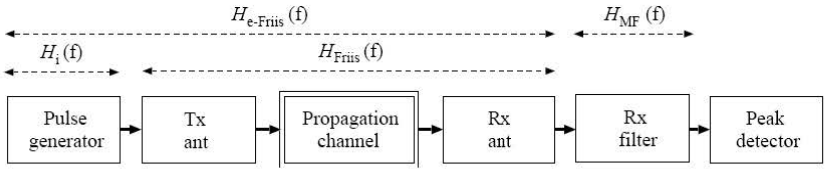


Fig. 1: Block diagram of BAN transmission model for WBAN system.

High-speed data rate is the basic requirement for a media and data transmission in the case of non-medical used of BAN technology. Furthermore, BAN can be group into wearable and implant devices. The wearable device is mostly use in wireless entertainment applications, while the implant device is use in medical health care service and wireless medical applications [13].

IEEE 802.15.6 is given the definition of BAN in the regulation. The general information of BAN such the physical layer, application layer, and protocol are defend in the regulation. In the development of wireless communication networks, the design of channel modeling is very necessary and important. The type of channel model in BAN can divide into 3 types which is on body, in body, and off body. Nevertheless, it is hard to find and design an appropriate channel model for wireless BAN due to the characteristics of the correct model is still under investigate.

The effect of human body in UWN communication have been evaluate in this research. The proposed method is present in the modify form of the equation of Friis for apply in UWB. Thus, this research is focus on the UWB signal and channel evaluation based on the measurement in BAN. And used the modification of the equation of Friis to analyze the BAN transfer function in UWB. In addition, The UWB transfer function is measure by vector network analyzer (VNA). The merits of this research will provide a suitable UWB channel model for wireless medical industrial.

II. THEORY OF BAN TRANSFER FUNCTION

This research present the evaluation of BAN waveform transfer function with human body in free space.

Friis equation of transmission in free space is commonly used in the analysis of link budget in narrowband communication systems. However, for UWB impulse radio communication systems, the equation of Friis cannot directly apply due to the equation is explain in the frequency domain. Therefore, the distortion from the antenna characteristics may affect the pulse shape of the waveform [7] which may treat by the gain and constant aperture, but there is no clear discussion had been made. The equation of Friis can be given by.

$$G_{\text{Friis}}(f)=\frac{P_r(f)}{P_t(f)}=G_t(f)G_r(f)G_t(f), \qquad (2)$$

where transmit antenna is G_t and receive antenna is G_r and free space propagation is express by

$$G_t(f)=\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2, \qquad (3)$$

where the wavelength is λ, the velocity of light is c, the operating frequency is f, and the separate length between transmit antenna and receive antenna.

It is noted that the UWB communication cannot directly apply the equation of Friis due to the limitation of the equation that applicable at narrowband or some certain frequency. Hence, in order to consider the waveform distortion of UWB signal, the equation of Friis shall be modify.

To modify the equation of Friis, input signal $v_i(t)$ is describe as the convolution is the input impulse and impulse filter $h_i(t)$.

$$v_i(t)=\delta(t)*h_i(t), \qquad (4)$$

With

$$\int_{-\infty}^{\infty}h_i^2(t)\,dt=\int_{-\infty}^{\infty}\left|H_i(f)\right|^2df=1 \qquad (5)$$

The receiver, the matched filter $H_{MF}(f)$ is introduced to maximize the SNR of the receiver output, as shown in Fig. 1.

$$H_{MF}(f)=\frac{H_{e-Friis}^*(f)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty}\left|H_{e-Friis}^*\right|^2\,df}}, \qquad (6)$$

and in the isotropic case

$$H_{MF,Iso}(f)=\frac{H_{e-Friis}^*(f)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty}\left|H_{e-Friis}^*\right|^2\,df}}, \qquad (7)$$

to satisfies by fellow power noise output power constant

$$\int_{-\infty}^{\infty}\left|H_{MF}(f)\right|^2\,df=1 \qquad (8)$$

Authorized licensed use limited to: King Mongkuts Institute of Technology Ladkrabang provided by UniNet. Downloaded on June 08,2023 at 19:44:17 UTC from IEEE Xplore. Restrictions apply.
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The 4th International Conference on Digital Arts, Media and Technology
and 2nd ECTI Northern Section Conference on Electrical, Electronics, Computer and Telecommunications Engineering

In case $E_i = 1$, the waveform output is $h_{e-Friis}(t)$ and receiver output spectrum is $H_{e-Friis}(f)$. The matched filter output waveform $V_{MF}(f)$ is expressed as

$$v_{MF}(t) = h_{e\ Friis}(t) * h_{MF}(t) = \frac{h_{e\ Friis}(t) * h_{MF}(-t)}{\sqrt{\int_{\infty}^{\infty} h_{e\ Friis}^2(t)\mathrm{d}t}}, \quad (9)$$

and for the isotropic case

$$v_{MF,Iso}(t) = h_{e\ Friis,Iso}(t) * h_{MF,Iso}(t) = \frac{h_{e\ Friis,Iso}(t) * h_{MF,Iso}(-t)}{\sqrt{\int_{\infty}^{\infty} h_{e\ Friis,Iso}^2(t)\mathrm{d}t}}, \quad (10)$$

and The maximum of matched filter output waveform $v_{MF}(t)$ is taking as

$$v_{MF}(f) = H_{e\ Friis,Iso}(f) H_{MF}(f) = \frac{|H_{e\ Friis}(f)|^2}{\sqrt{\int_{\infty}^{\infty} |H_{e\ Friis}(f)|^2\ \mathrm{d}f}}, \quad (11)$$

to taking its maximum as

$$\max_t v_{MF}(f) = \int_{\infty}^{\infty} V_{MF}(f)df = \sqrt{\int_{\infty}^{\infty} |H_{e\ Friis}(f)|^2 df} \quad (12)$$

It notes that, Eq. 12 is the modification form of the equation of Friis for UWB system. The propagation characterization in free space, the antenna frequency characteristics, and transmit spectrum input are including in the modify version of the equation. From Eq. 12 the UWB transfer function cannot explain as the product of free space transmission gain and antennas gain as describe in Eq. 2. However, the effect of transmission waveform and total transfer function can be obtaining by the modify of the equation of Friis. For the normalization, the reference isotropic antenna with $H_{Iso}(f) = 1$ is considered. The gain of UWB communication systems can be given as

$$G_{UWB} = \frac{\max_t v_{MF}(t)}{\max_t v_{MF,Iso}(t)} \quad (13)$$

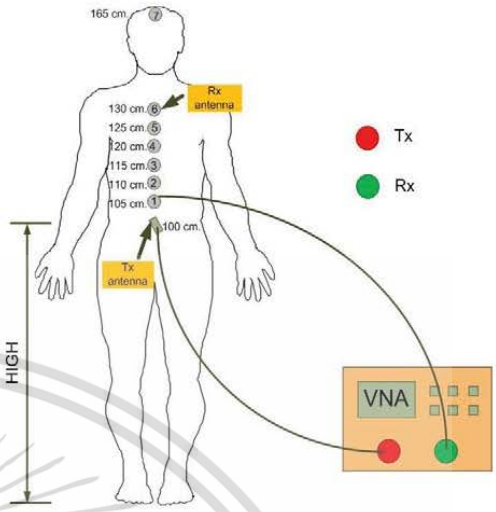


Fig. 2 : Experimental model without human body and with human body

III. BAN EXPERIMENT SYSTEM

A. *Experiment scheme*

The transfer function of an indoor environment can be find by the complex product of transmitted antenna transfer function and receiver antenna transfer function. The channel transfer function is measure and record by VNA [16].

B. *Measurement and Modeling setup*

The proposed experimental model I this research is divided into two parts which is with and without human body, respectively. In the experimental setup, both transmit antenna and receive antenna are attach at 7 assigned position on human body which spread in different position of human body. The antennas are placed on the front of the human body as shown in figure 2

C. *BAN signal model*

According to FCC regulation, UWB transmit waveform in this research is set to be 3 GHz to 9 GHz with the bandwidth f_b and center frequency f_0 is 6 GHz. A single pulse of amplitude shifts keying (ASK) with carrier frequency f_0 is assume in the simulation as the input transmission waveform. The Nyquist roll-off filter in Gaussian distribution $(f_0 - f_b/2,\ f_0 + f_b/2)$ and roll-off factor α equal to 0 is used to limit pulse shape as shown in Fig. 3. And the length of pulse is set to be $2/f_b$ in order to achieve the FCC bandwidth regulation.

Authorized licensed use limited to: King Mongkuts Institute of Technology Ladkrabang provided by UniNet. Downloaded on June 08,2023 at 19:44:17 UTC from IEEE Xplore. Restrictions apply.
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

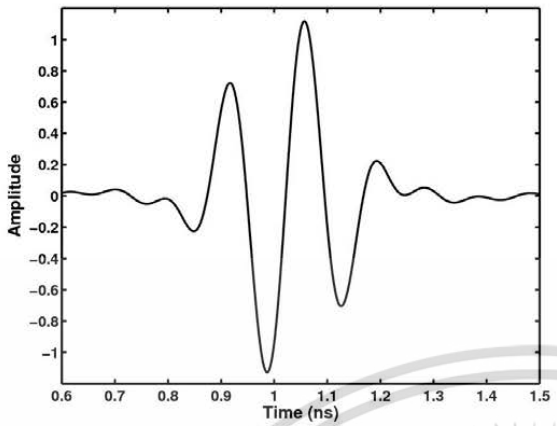


Fig. 3: The transmitted waveform of BAN system.

Table 1: Parameter of the Experimental

Parameter	Value
Measurement Bandwidth	3.0 GHz - 9.0 GHz
frequency point	801 points
Antenna Type	middle line
Receive Antenna of points	7 points

D. *The Experiment Model*

The key parameter of this experimental model are listed in Table. 1. Noted that, all antenna impairment is included in the results. Therefore, before start the measurement procedure, the calibration of coaxial cable and coaxial cable connector is done.

IV. MEASUREMENT RESULTS

The transfer function of BAN which measure in this research will present in graphical form and will provide the comparison of path loss and delay characteristics between with and without human body case.

The comparison path loss is shown in Fig. 4. Particularly that in the most of with human body case, the path loss is higher than without human body case due to the position of the receive antenna on human body.

The power delay profile of BAN channel for with and without case are shown in Fig. 5 and Fig. 6, respectively. The measurement results prove that human body can cause the different delay characteristic in BAN system. The lowest value of the signal is related to the shadowing effect and the separation length between the antennas.

The multipath fading can observe in Fig. 7. The root mean square (RMS) delay spread have higher change in with human body case

V. CONCLUSION

The BAN measurement model and evaluation scheme based on the modification of the equation of Friis is present in the research pare. The single ASK pulse of Gaussian distribution and matched filter are introduced as the input transmission waveform and suitable receiver, in order to modify the equation.

The meander line antennas are used as the transmit antenna and receive antenna. The results are explaining in term of path loss and delay characteristic of BAN transfer function. It presents the particular different between with human body case and without human body case. This proposed model is give a good evaluation results of the human body characterization in wireless BAN channel with UWB technology.

VI. REFERENCES

[1] P. Pagani, F. T. Talom, P. Pajusco, and B. Uguen, Ultra-Wideband Radio Propagation Channel, Hoboken, John Wiley & Sons, pp. 1-176, 2009.

[2] I. Oppermanna, M. Hamalainen, and J. Linatti, UWB Theroy and Applications, Hoboken, John Wiley & Sons, pp. 1-196, 2004

[3] Federal Communications Commission, "Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding UWB Transmission Systems," First Report, FCC, Apr. 2002.

[4] 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.

[5] H. T. Friis, "A Note on a Simple Transmission Formula," Proc. IRE, Vol 34, no 5, pp. 254-256, May 1946.

[6] S. Promwong, W. Hachitani and J. Takada, "Experimental Evaloation Scheme of UWB Antenna Performance," Technical Meeting on Instrument and Measurement, IEE Japan, IM-03-35, June 2003.

[7] S. Promwong, W. Hachitani, J. Takada, P. Supanakoon and P. Tangtisanon, "Experimental Study of Ultra Wideband Transmission Based on Friis' Transmission Formula," The Third International Symposium on Communications and Information Technology (ISCIT) 2003, vol. 1, pp. 467-470, Sept. 2003.

[8] C. Nguyan and J. Han, Time-Domain Ultra-Wideband Radar, Sensor and Components, New York, Springer, pp. 1-129, 2014.

[9] S. Promwong, J. Takada, P. Supanakoon and P. Tangtisanon, "Path Loss and Matched Filter Gain for UWB System," 2004 International Symposium on Antenna and Propagation (ISAP), pp. 97-100, Aug. 2004.

[10] S. Promwong, J. Takada, P. Supanakoon and P. Tangtisanon, "Path Loss and Matched Filter Gain of Free Space and Ground Reflection Channels for UWB Radio Systems," IEEE TENCON 2004 on Analog and Digital Techniques in Electrical Engineering, pp. 125-128, Nov. 2004.

[11] Z. Bai, W. Zhang, S. Xu, W. Liu and K. Kwak, "On The Performance of Multiple Access DS-BPAM UWB System in Data and Impage Transmission," IEEE International Symposium on Communications and Information Technology (ISCIT), vol. 2, pp. 851-854, Oct. 2005. [13]

[12] C. Nguyan and J. Han, Time-Domain Ultra-Wideband Radar, Sensor and Components, New York, Springer, pp. 1-129, 2014.

Authorized licensed use limited to: King Mongkuts Institute of Technology Ladkrabang provided by UniNet. Downloaded on June 08,2023 at 19:44:17 UTC from IEEE Xplore. Restrictions apply.
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[13] R.S.H Isepanian, E. Jovanov, Y.T. Zhang, "Guest editorial introduction to the special section on M-health: beyond seamless mobility and global wireless health-care connectivity," IEEE Trans. Inform. Technol.Biomed., vol. 8, no.4, pp. 405-414, Dec. 2004.

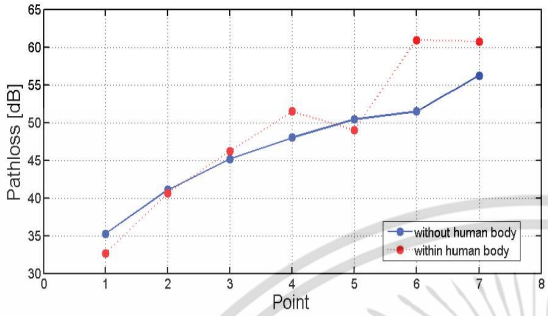


Fig.4: Comparison of the path Loss of without and with human bodys

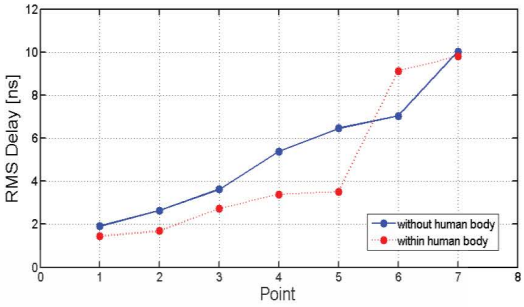


Fig.7: Comparison of the RMS Delay of without and with human body.

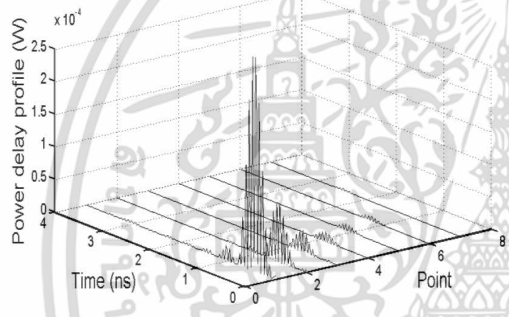


Fig.5: Power delay profile of the BAN channel of without human body.

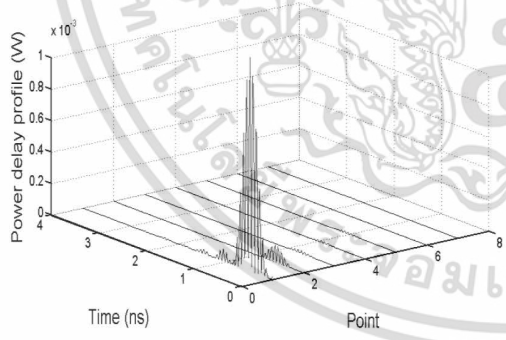


Fig.6: Power delay profile of the BAN channel with human body.

Authorized licensed use limited to: King Mongkuts Institute of Technology Ladkrabang provided by UniNet. Downloaded on June 08,2023 at 19:44:17 UTC from IEEE Xplore. Restrictions apply.
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The 6th Global Wireless Summit (GWS-2018)

Optimization of HB-UWB Transmission Waveform for BAN Applications

Aditep Chaisang and Sathaporn Promwong
Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand
aditep2512@yahoo.com and sathaporn.pr@kmitl.ac.th

Abstract— **The modern technology of wireless communications is rapidly developed and apply with short range communication networks around human body. The related research in these application has been investigating. In order to study the effect of human body in the high speed data rate technology, the patterns of ultra wideband for body area network has been studied. The measurement results have been measure and collected by vector network analyzer and analyze by using the equation of Friis. The proposed model is design for test and measure with human body in an indoor environment. The results show the usefulness information for a wireless communication for human body area network with ultra wideband.**

Keywords—BAN, UWB, WBAN, Impulse radio, Friis's transmission formula,

I. Introduction

The requirement in the wireless connection between electronics devices has been incresed whether the device is in the office buliding or within the house. There are many well-known technology for wireless communications which used to connect the device such as Bluetooth, Wi-Fi, and ultra wideband (UWB). The UWB is expected as the promising technology to improve the effeciency of shorg range data transmission and become the standard for indoor wireless communication. In this paper, the essential requirement of UWB technology has been studied and considered for apply in body area network (BAN). The effect of human body that impact the UWB transmission channel with human body has been studied.. This will bring the results into guidelines for the development of technology for broad band communications to maximize efficiency or to evaluate other frequency of the spectrum in broad band technology in the future.

II. Measurement Setup

In this study tested in meeting room size a 5×6 meters by installed antenna at position on the body such as Head, upper torso, lower torso, left arm and right arm. The distance from the antenna to receive and transmit antenna to the point of the room, as shown in Figures 2 and 3. The position 1 and 4 position is the distance to the nearest and farthest respectively. rotation of the body at that position by a rotate step of 5 degrees from 0 degrees to 360 degrees. To measure channel uses a vector network analyzer to measurement and records.when tested on the human body. The system analysis we consider used modify of Friis's formula and introduce the match filter at the receiver side, as shown block diagram in Figure 1 and considered in the time domain using IFT (Inverse Fourier Transform). The signals used to transmit, consider the time domain is used to determine the value of the signal

TABLE I. Parameters of Experiments

Parameters	Value
Frequency range	3 GHz to 11 GHz
Number of frequency points	801
Transmit antenna	Bicomical
Receive antenna	Meander line
Tx Antenna height	1.2 m.
Rx Antenna height	1.1 m, 1.2 m, 1.5 m, and 1.7 m..
Distance beween Tx and Rx	1.5 to 4.2 m.

obtained by considering the signal to get through the filter is matched And not through the filter is matched in order to consider both the delay and the level of the signal receiver, and this research also considers the bit error rate (BER) to demonstrate the effectiveness of data on the human body, the various parameters used in the experiment as shown in table 1. the antenna used in the experiment will be installed on human body by Rx antenna using meander line antenna and the transmission antenna using conical antenna and the direction of the antenna both vertically.

III. BAN-HB-UWB Impulse Radio Results

A. Received Waveform

In considering the domain of time, It consider the level of the signal and delay the signal from the receiver in this research will consider the time of arrival of signals at the receiver by observing the graph, as shown in Figures 5 and 7. The form shows that the signal sent to the receiver in the picture shows a graph of the time of the signal from the receiver in distance of the antenna and the antenna transmission nearest (position 1) and distance of Rx antenna and Tx antenna farthest (position 4). The result is shown in Figures 5 and 7 shows that at a distance near the (position 1) the delay of the signal that arrives at time 6.7 ns and the signal at the far end of the signal received that arrives at time 15.2 ns and through match filter shown in the equation.

$$H_{MF}(f) = \frac{H^{*}_{e-Friis}(f)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} \left| H^{*}_{e-Friis} \right|^{2} df}}. \quad (1)$$

which satisfies the following constant noise output power condition

Authorized licensed use limited to: King Mongkuts Institute of Technology Ladkrabang provided by UniNet. Downloaded on June 08,2023 at 19:44:20 UTC from IEEE Xplore. Restrictions apply.
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

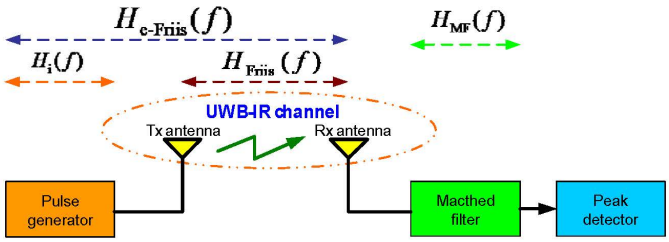


Fig. 1. The block diagram of transmission waveform for BAN-UWB sytem.

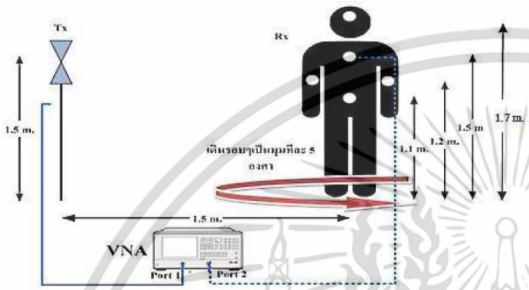


Fig. 2. The measurement setup.

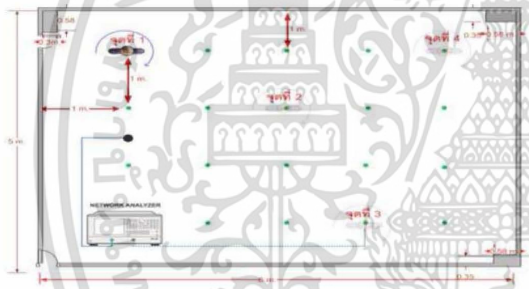


Fig. 3. The measurement model and positions orentation in meeting room.

$$\int_{-\infty}^{\infty} |H_{MF}(f)|^2 \, df = 1. \tag{2}$$

The spectrum of the receiver output are $h_{e-friis}(t)$ and $H_{e-friis}(f)$respectively. The waveform of the output from the matched filter $v_{MF}(t)$ and the spectrum of the output from the matched filter $V_{MF}(f)$ are.

$$v_{MF}(t) = h_{e-Friis}(t) * h_{MF}(t) \tag{3}$$

$$v_{MF}(t) = h_{e-Friis}(t) * h_{MF}(t) \tag{4}$$

$$= \frac{h_{e-Friis}(t) * h_{MF}(-t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} h_{e-Friis}^2(t) \mathrm{d}t}}.$$

$$v_{MF}(f) = H_{e-Friis,Iso}(f) H_{MF}(f)$$

$$= \frac{|H_{e-Friis}(f)|^2}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H_{e-Friis}(f)|^2 \, \mathrm{d}f}}. \tag{5}$$

taking its maximum as

$$\max_t v_{MF}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} V_{MF}(f) df$$

$$= \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H_{e-Friis}(f)|^2 df} \tag{6}$$

As shown in Figures 6 and 8 is the received waveform through the match filter which will be seen that the position of the antenna near to the antenna transmission (Figure 6) shows that the position of the chest will have the maximum signal level at 1.406 mV. And the worst of the body below will have signal level 0.752 mV in a position far from the antenna to get the most (position 4) is where the receiver has the best position right arm, the signal level at 0.816 mV and the worst body sides and the size of the signal 0.635 mV.

B. Path Loss

The demonstrates of effectiveness in the transmit information on the human body will be compared with the signals through match filter in Figures 8 and 9 shows the comparison of position between position 1 and position 4. For antenna is used transmitting and receiving antennas are near together will eventually notice that the best position of the chest. In contrast, Figure 9 show the antenna of the antenna to receive and transmit farthest distances will have a value of path loss equal to the value of the path loss and the best position of the left arm.

IV. Experimental Results

In this research, the effect of human body in HB-UWB system within the indoor environment has been measured and analyzed. The measurement has been done with human body inside a closed room by varying distance between transmit antenna and human body position from position 1 to position

Authorized licensed use limited to: King Mongkuts Institute of Technology Ladkrabang provided by UniNet. Downloaded on June 08,2023 at 19:44:20 UTC from IEEE Xplore. Restrictions apply.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

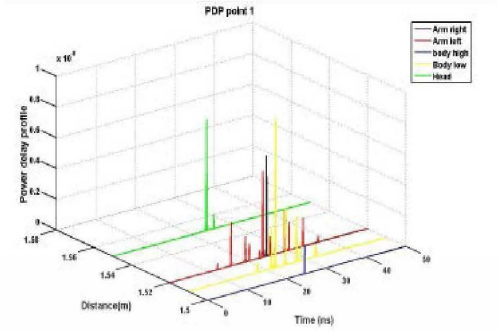


Fig. 4. Example the power delay profile at position 1.

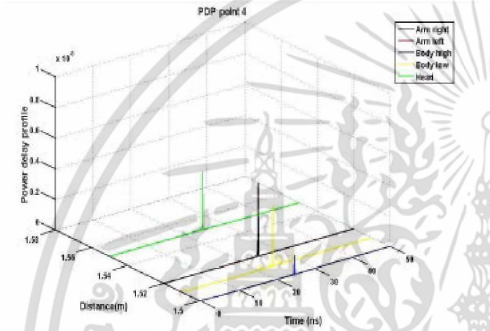


Fig. 5. Example the power delay profile at position 4.

4. The meander line antenna is attach on human body to investigate the attenuation due to the human body. The proposed model also consider the different angle of human body to measure the attenuation from the shadowing of human body by rotating body from 0 degree to 360 degree with the increase by 5 degree. The obtained results show the obvious different result from position 1 and position 4, the receive signal power at the farthest position will affect by path loss and delay time. To summarize the best HB-UWB at the human body, the parameter had to measure and analyze for installed the HB-UWB device and able to minimum the shadowing effect of the result. The position at the nearest position will operate very good especially at the chest position because the impulse radio propagation of HB-UWB will not good at the distance more than 3 m. This problem can be solved by consider the corner of the human body that affect the receiver antenna and add more repeater in the system. Moreover, the HB-UWB should be avoid to use in high population place, but its good to use in home office, work shop, patient room, and short term communications. However, to create the HB-UWB on human body for BAN applications, the installed position must be carefully consider with the less human body shadowing effect such as arm and chest.

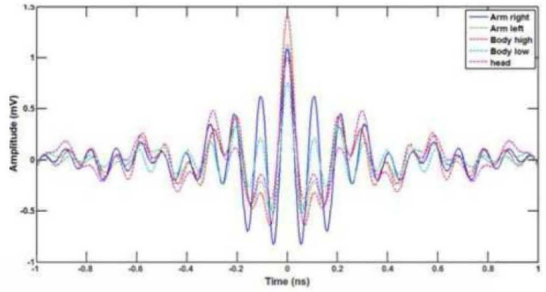


Fig. 6. Example result the received waveform with match filter at position 1.

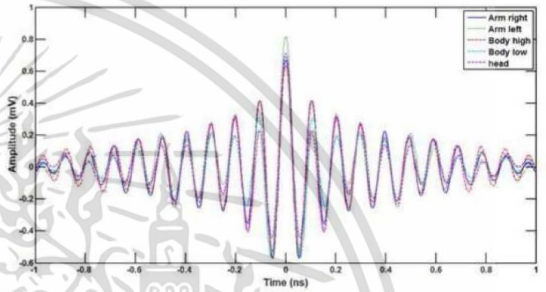


Fig. 7. Example result the received waveform with match filter at position 4.

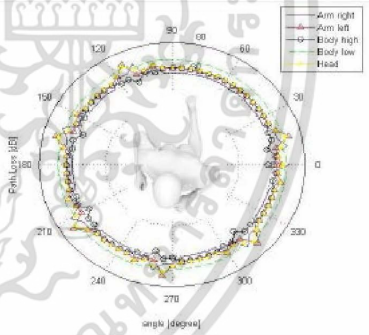


Fig. 8. Example result of the path loss at position 1.

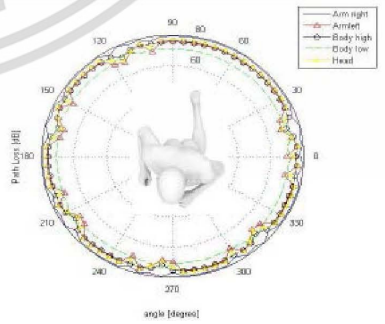


Fig. 9. Example result of the path loss at position 4.

Authorized licensed use limited to: King Mongkuts Institute of Technology Ladkrabang provided by UniNet. Downloaded on June 08,2023 at 19:44:20 UTC from IEEE Xplore. Restrictions apply.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REFERENCES

[1] K. Siwiak, "Impact of ultra wide band transmissions on a generic receiver" Proc. 2001 Spring IEEE Veh. Tech. Conf. (VTC), Rhodes, Greece, vol. 2, pp. 1181-1183, May 2001.

[2] H.F. Harmuth and S. Ding-Rong, "Antennas for Nonsinusiodal Wave - Part I: Radiators," IEEE Trans. Elec. Mag. Compat., vol. EMC-25, no. 1, pp. 13-24, Feb. 1983.

[3] H.F. Harmuth and S. Ding-Rong, "Antennas for Nonsinusiodal Wave - Part II: Sensors," IEEE Trans. on Elec. Mag. Compat., vol. EMC-25, no. 1, no. 2, pp. 107-115, May 1983.

[4] H.T. Friis, "A note on a simple transmission formula," Proc. IRE, vol. 34, no. 5, pp. 254-256, May 1946.

[5] J. Takada, S. Promwong and W. Hachitani, "Extension of Friis' Transmission Formula for Ultra-Wideband Systems," IEICE Tech. Rep., WBS2003-8/MW2003-20, May 2003.

[6] A.H. Mohammadian, A. Rajkotia, and S.S. Soliman, "Characterization of UWB Transmit-Receive Antenna System," Proc. IEEE Conf. Ultra Wideband Syst. Tech. (UWBST) 2003, Nov. 2003.

[7] Skycross Inc., "3.1-10 GHz UWB Antenna for Commercial UWB Applications," http://www.skycross.com/

Authorized licensed use limited to: King Mongkuts Institute of Technology Ladkrabang provided by UniNet. Downloaded on June 08,2023 at 19:44:20 UTC from IEEE Xplore. Restrictions apply.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายอดิเทพ ชัยสังข์

ที่อยู่ 60 หมู่10 ถนนดาวเรืองโป่งแรด ต.พลับพลา อ.เมือง จันทบุรี 22000
โทร. 089-798-8204

ประวัติการศึกษา 2534 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2545 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ความชำนาญเฉพาะด้าน 1.) ระบบโทรคมนาคม
2.) เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง
3.) การสื่อสารไร้สายบนร่างกายมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้