

การจำลองและการวัดรูปคลื่นส่งผ่านบนร่างกายมนุษย์แบบแถบกว้างยิ่ง
สำหรับระบบโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์

MEASUREMENT AND MODELLING OF HB-UWB TRANSMISSION
WAVEFORM FOR WBAN SYSTEM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
พ.ศ. 2566
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
KMITL-2023-EN-D-018-170

MEASUREMENT AND MODELLING OF HB-UWB TRANSMISSION
WAVEFORM FOR WBAN SYSTEM



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
2023
KMITL-2023-EN-D-018-170



COPYRIGHT 2023

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจำลองและการวัดรูปคลื่นส่งผ่านบนร่างกายมนุษย์แบบแถบกว้างยิ่งสำหรับระบบโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์
นักศึกษา	นางสาวชนิตาภา สงวนพวก
รหัสนักศึกษา	61601039
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมวิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2566
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ชรินทร์ บุญลักษณะนาสุสรณ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอแบบจำลองและการวัดรูปคลื่นส่งผ่านบนร่างกายมนุษย์แบบแถบกว้างยิ่งสำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ การทำให้ระบบมีความเหมาะสมที่สุดด้วยขบวนการแบบคลื่นและเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์เพื่อให้ได้สัญญาณที่เหมาะสมที่สุด สำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ และการประยุกต์โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ในทางการแพทย์ ในการศึกษาวิจัยนี้ได้ออกแบบจำลองและการวัดโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ในการวัดและบันทึกผลใช้สายอากาศกรวยคู่เป็นสายอากาศส่งและใช้สายอากาศเส้นตัวนำคดเคี้ยวทางด้านรับ ข้อมูลที่ได้จากการวัดช่องสัญญาณในการส่งผ่านได้พิจารณาการสูญเสียเชิงวิถี และคุณลักษณะการประวิงกำลังงานตามที่ได้กำหนดตำแหน่งต่าง ๆ บนร่างกาย โดยได้ประเมินผลเปรียบเทียบความแตกต่างในกรณีอวกาศว่าง กรณีมองเห็นได้ในระดับสายตาและไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา ตลอดจนการประวิงกำลังงานที่มาถึงแต่ละตำแหน่ง ข้อมูลที่ได้จากแบบแผนการศึกษาทดลองวิจัยวิทยานิพนธ์นี้มีความสำคัญอย่างยิ่ง สำหรับการออกแบบ และการประเมินผลของโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์แบบกว้างยิ่ง และได้แสดงไว้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้อย่างครบถ้วน

Thesis Title	Measurement and Modelling of HB-UWB Transmission Waveform for WBAN System
Student	Miss Chanidaphar Sanguanpuak
Student ID.	61601039
Degree	Doctor of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2023
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Chanin Bunlaksananusorn

ABSTRACT

This thesis is proposed the measurement and modelling of HB-UWB transmission waveform for WBAN system. The system optimization with correlator receiver and CLEAN algorithm is evaluated. In this research are design and measurement evaluation by using vector network analyzer for measured and recorder the transmit antenna used biconical antenna and receive antenna used minder line antenna. This result evaluated and comparison with the path loss and power delay profile of HB-UWB transmission wave based on definition. The data of research work are very important for design and evaluation of WBAN applications and all show in thesis.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. ชรินทร์ บุญลักษณานุสรณ์ ที่ให้การอนุเคราะห์และสนับสนุนงานวิจัย ชี้แนะแนวทางในการแก้ปัญหา และคอยดูแลตลอดระยะเวลาที่ทำงานวิจัย ตลอดจนถ่ายทอดวิชาความรู้ความสามารถให้ศิษย์ได้ เข้าใจได้อย่างเต็มที่ รวมทั้งคอยฝึกฝนอบรมสั่งสอนให้มีผู้วิจัยมีความสามารถในการทำวิจัยได้ดี ผู้วิจัย รู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน และขอขอบพระคุณ คณาจารย์ บัณฑิตศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่าน ที่ช่วยให้ความรู้ให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางการวิจัยเสมอมา

ขอขอบคุณพี่ ๆ นักศึกษาปริญญาเอกและปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ให้ความรู้ให้คำปรึกษาแนะนำ และช่วยเหลือทางด้านเทคนิคในการใช้เครื่องมือต่าง ๆ อย่างเต็มที่ จนเป็นผลให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถดำเนินการได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ รวมทั้งขอขอบคุณน้อง ๆ นักศึกษาห้องปฏิบัติการวิจัยที่ คอยให้ความช่วยเหลือในด้านการทดลองวัดผลจนเสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ญาติพี่น้อง ผู้ซึ่งสนับสนุนในทุกด้านของการศึกษา และเป็นกำลังใจด้วยดีตลอดมา ผู้วิจัยขอมอบความสำเร็จในครั้งนี้ให้กับท่านทั้งบิดาและมารดา ถ้าไม่มีท่าน ผู้วิจัยคงไม่มีวันนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงได้จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้แด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นางสาวชนิดาภา สงวนพวง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	3
1.3 สมมติฐานของการศึกษา	3
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดในการวิจัย	4
1.5 ขอบเขตการวิจัย	4
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา	5
บทที่ 2 เทคโนโลยีโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์	6
2.1 กล่าวนำ	6
2.1.1 โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์และการตรวจสอบสุขภาพทางการแพทย์	7
2.1.2 การประยุกต์ใช้งาน	8
2.2 ประวัติของการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง	11
2.3 เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง	12
2.3.1 ข้อดีของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง	12
2.4 กฎข้อบังคับการทำงานของระบบแถบกว้างยิ่ง	13
2.4.1 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา	14
2.5 การประยุกต์และการนำระบบแถบกว้างยิ่งไปใช้งาน	17
2.5.1 การประยุกต์ใช้งานเครือข่ายภายในอาคารสำนักงาน	18
2.5.2 การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายภายในที่พักอาศัย	18
2.5.3 การประยุกต์เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งสำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกาย	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.4 การประยุกต์ใช้งานในการค้นหาตำแหน่ง	19
2.6 สรุป	20
บทที่ 3 การวิเคราะห์โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์แถบกว้างยิ่ง	21
3.1 กล่าวนำ	21
3.2 แบบจำลองการส่งผ่านสำหรับระบบ UWB-IR	21
3.2.1 สัญญาณส่งแบบแถบกว้างยิ่ง	22
3.2.2 การประยุกต์ใช้สูตรการส่งผ่านสัญญาณของฟรีสสำหรับระบบแถบ กว้างยิ่ง	24
3.2.3 สัญญาณที่รับได้	24
3.2.4 สัญญาณที่รับได้จากเครื่องรับสหสัมพันธ์	26
3.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์	26
3.3.1 ผลตอบสนองความถี่ของสัญญาณ	27
3.3.2 การสูญเสียเชิงวิถี	27
3.3.3 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน	28
3.3.4 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	29
3.3.5 อัตราขยายของสัญญาณในการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่ง	29
3.4 อัลกอริทึมแบบคลื่น	30
3.3.6 อัตราความผิดพลาดบิต (BIT ERROR RATE: BER)	30
3.3.6 อัตราความผิดพลาดบิต (BIT ERROR RATE: BER)	32
3.3.6 อัตราความผิดพลาดบิต (BIT ERROR RATE: BER)	32
3.5 สรุป	33
บทที่ 4 การวัดช่องสัญญาณการส่งผ่านแบบไร้สายบนร่างกายมนุษย์แถบกว้างยิ่ง	34
4.1 กล่าวนำ	34
4.2 ระบบการวัดช่องสัญญาณ	34
4.2.1 แบบแผนการวัด	34
4.2.2 แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณ	34
4.2.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัด	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 เครื่องมือหลักที่ใช้ในการทดลอง	37
4.3.1 เครื่องวิเคราะห์โครมเข้าแบบเวกเตอร์	37
4.3.2 สายอากาศที่ใช้ในการทดลอง	38
4.4 สรุป	41
บทที่ 5 ผลการทดลองวิจัยและการอภิปรายผล	42
5.1 กล่าวนำ	42
5.2 ผลการทดลองของแบบจำลองการวัดที่ตำแหน่งต่าง ๆ	42
5.2.1 การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณการส่งผ่านแถบกว้างยิ่ง	42
5.2.2 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณแถบกว้างยิ่ง	42
5.3 สรุป	45
บทที่ 6 สรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ	46
6.1 กล่าวนำ	46
6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการวิจัยในอนาคต	46
6.2.1 การวิเคราะห์ช่องสัญญาณการส่งผ่านกรณีไม่มีบดบังจากร่างกายมนุษย์	46
6.2.1 การวิเคราะห์ช่องสัญญาณส่งผ่านในกรณีมีการบดบังจากร่างกายมนุษย์	46
6.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการวิจัยในอนาคต	47
เอกสารอ้างอิง	50
ภาคผนวก บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวิทยานิพนธ์	55
ประวัติผู้เขียน	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	15
4.1	37



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า	
2.1	การสื่อสารของเทคโนโลยีไร้สายบนร่างกายมนุษย์	6
2.2	การพัฒนาระบบควบคุมการดูแลทางการแพทย์	8
2.3	โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์สำหรับผู้พิการทางสายตาตรวจหาสัมผัสภาวะต่าง ๆ	9
2.4	โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์สำหรับผู้พิการทางสายตาค้นหาด้วยกล้องวีดีโอ	10
2.5	โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์สำหรับเดินตามจังหวะดนตรีและเสียงเพลงร่วมกัน	10
2.6	การเปรียบเทียบระดับกำลังงานความหนาแน่นระหว่างแถบแคบอื่น ๆ และเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง	12
2.7	หน้ากาสเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งกำหนดโดย FCC	16
2.8	หน้ากาสเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคารกำหนดโดย FCC	17
2.9	หน้ากาสเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งภายนอกอาคารกำหนดโดย FCC	17
2.10	เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งสำหรับโครงข่ายไร้สายระหว่างรถยนต์และโทรศัพท์มือถือ	18
2.11	การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งสำหรับโครงข่ายบ้านพักอาศัย	18
2.12	เทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งประยุกต์ใช้สำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์	19
2.13	เทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งสำหรับการหาตำแหน่ง	20
3.1	ระบบของการวิเคราะห์การส่งผ่านสำหรับระบบ UWB-IR	21
3.2	รูปคลื่นสัญญาณการส่งผ่านของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง	23
3.3	สเปกตรัมสัญญาณการส่งผ่านของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง	23
3.4	ตัวอย่างภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน	28
3.5	บล็อกไดอะแกรมคลื่นอัลกอริทึม	31
4.1	บล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการทดลองวิจัย	35
4.2	การออกแบบจำลองการวัดที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของร่างกาย	36
4.3	การติดตั้งการวัดช่องสัญญาณของแบบจำลองการวัดที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของร่างกาย	36
4.4	เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์	38
4.5	สายอากาศแบบกรวยคู่ที่ใช้ในการทดลองวัด	39
4.6	สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศแบบกรวยคู่ที่ใช้ในการทดลองวัด	39
4.7	ขนาดและเฟสของฟังก์ชันการของสายอากาศแบบกรวยคู่ที่ใช้ในการทดลองวัด	40
4.8	โครงสร้างของสายอากาศแบบเส้นตัวนำคดเคี้ยว	40
4.9	สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ $ S_{11} $ คุณสมบัติของสายอากาศแบบเส้นคดเคี้ยว	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
4.10 อัตราขยายของสายอากาศแบบเส้นคดเคี้ยวที่มีความถี่ 5.25 กิกะเฮิรตซ์	41
5.1 การสูญเสียเชิงวิถีของแบบจำลองการวัดที่ตำแหน่งต่าง ๆ	43
5.2 คุณลักษณะการภาพตัดขวางประวิงกำลังส่งผ่านช่องสัญญาณบนร่างกายมนุษย์ แถบกว้างยิ่งกรณีในอวกาศว่าง	43
5.3 คุณลักษณะการภาพตัดขวางประวิงกำลังส่งผ่านช่องสัญญาณบนร่างกายมนุษย์ แถบกว้างยิ่งกรณีในอวกาศว่าง	44
5.4 คุณลักษณะการภาพตัดขวางประวิงกำลังส่งผ่านช่องสัญญาณบนร่างกายมนุษย์ แถบกว้างยิ่งกรณีในอวกาศว่าง	44
6.1 ระบบแถบกว้างยิ่งสำหรับการประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ไร้สาย	47
6.2 การสแกนด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงสำหรับการตรวจค้น	48
6.3 การพัฒนาเทคโนโลยีโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์สำหรับการแพทย์	48
6.4 การเชื่อมโยงโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ระยะสั้นสำหรับ 4G และ 5G	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โครงข่ายการส่งผ่านไร้สายบนร่างกายมนุษย์นั้นมีความสำคัญทั้งการประยุกต์ใช้ในการแพทย์และไม่ใช้ทางการแพทย์ ซึ่งแตกต่างจากระบบไร้สายอื่นๆ ที่มีอยู่เนื่องจากการเชื่อมต่ออุปกรณ์การสื่อสารอยู่ใกล้ชิดกับร่างกายมนุษย์มาก และร่างกายมนุษย์ก็มีความซับซ้อนกว่าการประยุกต์ใช้งานแบบอื่นๆ ด้วยเนื้อเยื่อของร่างกายวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.ชรินทร์ บุญลักษณะนาสุธรรม ที่ให้การอนุเคราะห์และสนับสนุนงานวิจัย ชี้แนะแนวทางในการแก้ปัญหาและคอยดูแลตลอดระยะเวลาที่ทำงานวิจัย ตลอดจนถ่ายทอดวิชาความรู้ความสามารถให้ศิษย์ได้เข้าใจได้อย่างเต็มที่ รวมทั้งคอยฝึกฝนอบรมสั่งสอนให้มีผู้วิจัยมีความสามารถในการทำวิจัยได้ดี ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน และขอขอบพระคุณ คณาจารย์บัณฑิตศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่าน ที่ช่วยให้ความรู้ให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางการวิจัยเสมอมา

ขอขอบคุณพี่ ๆ นักศึกษาปริญญาเอกและปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ให้ความรู้ให้คำปรึกษาแนะนำ และช่วยเหลือทางด้านเทคนิคในการใช้เครื่องมือต่าง ๆ อย่างเต็มที่ จนเป็นผลให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถดำเนินการได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ รวมทั้งขอขอบคุณน้อง ๆ นักศึกษาห้องปฏิบัติการงานวิจัยที่คอยให้ความช่วยเหลือในด้านการทดลองวัดผลจนเสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ญาติพี่น้อง ผู้ซึ่งสนับสนุนในทุกด้านของการศึกษา และเป็นกำลังใจด้วยดีตลอดมา ผู้วิจัยขอมอบความสำเร็จในครั้งนี้ให้กับท่านทั้งบิดาและมารดา ถ้าไม่มีท่าน ผู้วิจัยคงไม่มีวันนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงได้จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

มนุษย์ซึ่งประกอบไปด้วยไขมัน น้ำ ทำให้การแพร่กระจายคลื่นถูกลดทอนเร็วกว่าในแบบอวกาศว่าง ซึ่งส่งผลกระทบต่อช่องสัญญาณและเกิดการผิดเพี้ยนของข้อมูลข่าวสารได้ ดังนั้น มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องคำนึงถึงเรื่องกำลังงาน สัญญาณที่ใช้ส่งผ่านช่องสัญญาณบนร่างกายมนุษย์ และวิธีการที่ใช้ในการประเมินผล เนื่องจากระดับกำลังงานที่ใช้มีผลต่อความปลอดภัยของร่างกาย

มนุษย์ รวมถึงการนำไปใช้งานในสภาวะแวดล้อมจริงจะเกิดปัญหาเรื่องคลื่นหลายวิถี ดังนั้น ในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนอการใช้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง (Ultra Wideband: UWB) มาใช้ในการวิเคราะห์และประเมินผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ที่มีผลต่อช่องสัญญาณในการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่ง

ลักษณะเด่นที่ทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งถูกเลือกมาใช้ในงานวิทยานิพนธ์นี้ เนื่องจากเป็นสัญญาณวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง (Ultra Wideband Impulse Radio: UWB-IR) ที่ใช้กำลังงานส่งต่ำ จึงส่งผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์น้อยมาก และเนื่องด้วยมีแบนด์วิดท์ของสัญญาณที่กว้างมาก จึงสามารถลดปัญหาที่เกิดจากคลื่นหลายวิถีได้ นอกจากนี้สัญญาณแบบกว้างยิ่งมีพัลส์ที่มีลักษณะทางโดเมนเวลาที่แคบมากๆ หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณน้อยมากๆ เป็นผลทำให้มีความละเอียดในการแยกสัญญาณแต่ละวิถีได้มาก และสามารถคำนวณเวลาได้อย่างถูกต้องแม่นยำกว่าระบบอื่นๆ ด้วยข้อดีต่างๆ ของสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง ทำให้สามารถนำมาใช้ในโครงข่ายพื้นที่ไร้สายบนร่างกายมนุษย์ได้เป็นอย่างดี

นอกจากสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งที่นำมาใช้แล้ว วิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์ล้วนแล้วแต่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้การขยายสูตรการส่งผ่านของฟรีสในการวิเคราะห์และประเมินผล ซึ่งแต่เดิมสูตรของฟรีสเหมาะสำหรับนำมาวิเคราะห์กับระบบการสื่อสารแถบแคบ ดังนั้นจึงต้องปรับมาใช้กับระบบวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง โดยคำนึงถึงรูปคลื่นสัญญาณที่ใช้ในการส่งผ่านและเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ทางด้านภาครับ ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในการประยุกต์สูตรการส่งผ่านของฟรีสที่จะทำให้สามารถประเมินผลได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการประเมินผลความผิดเพี้ยนของรูปคลื่น

ในปัจจุบันได้มีงานวิจัยจำนวนมากศึกษาเกี่ยวกับคุณลักษณะการแพร่กระจายคลื่นแถบกว้างยิ่งและการจำลองช่องสัญญาณการสื่อสารแถบกว้างยิ่งบนร่างกาย ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะพิจารณาบนร่างกายคนเพียงคนเดียว คือ มีโหนดการรับส่งสัญญาณอยู่บนร่างกายคนเดียวกัน หรือมีโหนดใดโหนดหนึ่งอยู่ภายนอกร่างกาย แต่อย่างไรก็ตามการส่งสัญญาณจากคนหนึ่งไปยังอีกคนหนึ่งมีการนำไปใช้งานจริงทั้งทางการแพทย์และไม่ใช้ทางการแพทย์ เช่น การถ่ายโอนข้อมูลระหว่างอุปกรณ์สวมใส่บนร่างกาย การตรวจวัดทางการแพทย์ ซึ่งเราไม่สามารถรู้ได้เลยว่ากรณีการรับส่งสองคนนี้จะส่งผลกระทบต่อช่องสัญญาณเหมือนกรณีการรับส่งคนเดียวหรือไม่ มากน้อยเพียงใด และเกิดความผิดเพี้ยนของสัญญาณขึ้นมากแค่ไหน ซึ่งการรู้ถึงคุณลักษณะของช่องสัญญาณและการผิดเพี้ยนของสัญญาณที่เกิดขึ้นนั้นมีส่วนสำคัญในการวิเคราะห์ถึงคุณลักษณะการใช้งานของตัวอุปกรณ์สื่อสารไร้สายบนร่างกายมนุษย์ ซึ่งจะทำให้เราสามารถออกแบบและปรับปรุงประสิทธิภาพระบบสื่อสารให้มีความเหมาะสมและปลอดภัยในการใช้งานได้

ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำเสนอการประเมินผลการทดลองของรูปคลื่นการส่งผ่านแถบกว้างยิ่งจากคนหนึ่งไปยังอีกคนหนึ่ง (Ultra Wideband: UWB-B2B) เพื่อศึกษาผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ที่มีผลต่อช่องสัญญาณการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่ง การผิดเพี้ยนของรูปคลื่นการส่งผ่าน และประสิทธิภาพการส่งผ่านสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ที่มีผลต่อช่องสัญญาณการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่งโดยพิจารณาบนพื้นฐานการส่งผ่านของฟรีส [1] ซึ่งได้พิจารณารูปคลื่นที่ใช้ส่งผ่านและการรับแบบสหสัมพันธ์ (Correlation Receiver) เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ (Vector Network Analyzer: VNA) เป็นอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการวัดและบันทึกผล ส่วนสายอากาศที่ใช้ในการประเมินผลการวัดเป็นสายอากาศแบบเส้นคดเคี้ยว (Meander Line Antenna) ได้ใช้เป็นสายอากาศด้านรับและสายอากาศด้านส่ง โดยมีวัตถุประสงค์ของการศึกษาดังต่อไปนี้

1. ศึกษาเทคโนโลยีวิทยุแบบอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งสำหรับโครงข่ายพื้นที่ไร้สายบนร่างกายมนุษย์บนมาตรฐาน IEEE 802.15.6 [2]
2. ศึกษาทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์บนพื้นฐานของสูตรการส่งผ่านของฟรีส (Friis' Transmission Formula) ให้มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับระบบการส่งผ่านแถบกว้างยิ่งด้วยขบวนการคลื่นและเครื่องรับสหสัมพันธ์
3. ศึกษาออกแบบจำลองการทดลองวัดช่องสัญญาณการถ่ายโอนบนร่างกายมนุษย์แบบแถบกว้างยิ่ง
4. ศึกษาและเสนอขบวนการคลื่นและเครื่องรับสหสัมพันธ์ในการประเมินผลการทดลองของรูปคลื่นการถ่ายโอนบนร่างกายมนุษย์แบบแถบกว้างยิ่ง
5. ศึกษาวิเคราะห์และการประเมินผลเปรียบเทียบคุณลักษณะการถ่ายโอนบนร่างกายมนุษย์ด้วยสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้ทำการพิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากร่างกายมนุษย์ที่มีต่อช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งบนพื้นฐานของการวัด ช่องสัญญาณในที่นี้เป็นช่องสัญญาณระหว่างร่างกายคือมีการส่งสัญญาณจากคนหนึ่งไปยังอีกคนหนึ่ง ซึ่งแต่เดิมนั้นจะพิจารณาผลกระทบจากร่างกายมนุษย์เพียงคนเดียว ดังนั้น คุณลักษณะของช่องสัญญาณที่ได้น่าจะแตกต่างกัน รวมทั้งความผิดเพี้ยนของสัญญาณที่เกิดขึ้นน่าจะไม่เหมือนเดิม รวมถึงการรู้ถึงคุณลักษณะของช่องสัญญาณและการผิดเพี้ยนของสัญญาณที่เกิดขึ้นนั้นมีส่วนสำคัญในการวิเคราะห์ถึงคุณลักษณะการใช้งานของตัวอุปกรณ์สื่อสารไร้สายบนร่างกายมนุษย์ ซึ่งจะทำให้เราสามารถออกแบบและปรับปรุงประสิทธิภาพระบบสื่อสารให้มีความเหมาะสมและปลอดภัยในการใช้งานได้ ดังนั้นวิธีการประเมินผลจึงเป็นสิ่งสำคัญต่อการออกแบบและการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งสามารถประเมินผลได้โดยนำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญบนพื้นฐานสูตรการส่งผ่านของฟรีสและทางด้านรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์สองแบบมาเปรียบเทียบกันระหว่างเครื่องรับแบบสัญญาณที่รับได้และเครื่องรับแบบไอโซทรอปิกเพื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณ และความผิดเพี้ยนที่เกิดขึ้น ผลจากการวิจัยสามารถนำมาทำการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้เหมาะสมกับการใช้งานและประยุกต์ใช้งานกับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาถึงผลกระทบของร่างกายมนุษย์ที่มีผลต่อช่องสัญญาณการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่งบนพื้นฐานสูตรการส่งผ่านของฟรีส แต่อย่างไรก็ตามสูตรของฟรีสไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับระบบการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งได้โดยตรง เนื่องจากสูตรการส่งผ่านของฟรีสอยู่ในรูปของกำลังหรือในโดเมนความถี่ เหมาะสมกับความถี่บางช่วงเท่านั้น เราจึงต้องปรับปรุงสมการการส่งผ่านของฟรีสให้เหมาะสมกับระบบสื่อสารแถบกว้าง โดยคำนึงถึงรูปคลื่นสัญญาณที่ใช้ในการส่งผ่านและเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ทางด้านภาครับ ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในการประยุกต์สูตรการส่งผ่านของฟรีส ที่จะทำให้สามารถประเมินผลได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ โดยเฉพาะการประเมินผลความผิดเพี้ยนของรูปคลื่น ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาถึงผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ที่มีผลต่อคุณลักษณะของช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่ง ซึ่งได้นำวิธีการวิเคราะห์และประเมินผลดังกล่าวมาใช้ในการพิจารณาผล ในการวัดช่องสัญญาณได้ใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์และใช้สายอากาศแบบเส้นคดเคี้ยว โดยทำการวัดตลอดช่วงความถี่ตั้งแต่ 3 GHz ถึง 11 GHz ครอบคลุมช่วงความถี่ที่กำหนดให้ใช้งานในการสื่อสารโดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communication Commission: FCC) คือ ตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz การวัดนั้นได้ออกแบบจำลองการวัด 2 แบบคือ แบบจำลองการวัดในตำแหน่งต่าง ๆ บนร่างกายมนุษย์ และแบบจำลองการวัดที่มุมต่างๆ ของร่างกายมนุษย์ จากนั้นนำช่องสัญญาณที่ได้มาทดสอบการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่ง ลักษณะวิธีการวัดที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนี้กำหนดขึ้นเพื่อศึกษาคุณลักษณะของช่องสัญญาณ ความผิดเพี้ยนของสัญญาณ และประสิทธิภาพการส่งผ่านช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

1.5 ขอบเขตการศึกษา

วิทยานิพนธ์นี้จะทำการศึกษาถึงผลกระทบของร่างกายมนุษย์ในตำแหน่งต่าง ๆ และการบิดบังของร่างกายที่มีผลต่อช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง โดยทำการออกแบบจำลองการวัดช่องสัญญาณในสภาวะแวดล้อมจริงและทดสอบการส่งผ่านแถบกว้างยิ่ง การวิเคราะห์ผลที่ได้แสดงในรูปของพารามิเตอร์ต่าง ๆ อันประกอบไปด้วย การสูญเสียเชิงวิถี ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน รูปคลื่นสัญญาณที่รับได้จากขบวนการคลื่นและเครื่องรับสหสัมพันธ์

1.6 ขั้นตอนการศึกษา

จากแนวคิดและหลักการที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น สามารถสรุปเป็นขั้นตอนการศึกษาสำหรับวิทยานิพนธ์นี้เป็น 6 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงบทนำ ซึ่งประกอบไปด้วยความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมติฐานของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย ขอบเขตการวิจัย และขั้นตอนการวิจัย

บทที่ 2 กล่าวถึงเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายแบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งประกอบด้วยประวัติความเป็นมา หลักการพื้นฐานของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง ลักษณะของสัญญาณแถบกว้างยิ่ง จุดเด่นของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง ข้อกำหนดและมาตรฐานของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง และการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่ง และโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ ซึ่งประกอบด้วยนิยามและข้อกำหนดของโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ กฎข้อบังคับสำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ ซึ่งจะกล่าวถึงการจัดสรรช่วงความถี่ในการใช้งาน หัวข้อต่อไปก็คือแบบจำลองช่องสัญญาณสำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ และการประยุกต์ใช้งานโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์

บทที่ 3 กล่าวถึงแบบจำลองการส่งผ่านและหลักการวิเคราะห์ ในเรื่องของแบบจำลองการส่งผ่านจะกล่าวถึง สัญญาณส่งแบบแถบกว้างยิ่ง ช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่ง การประยุกต์ใช้สูตรการส่งผ่านสัญญาณของพริส สัญญาณที่รับได้ เครื่องรับในระบบแถบกว้างยิ่ง สัญญาณที่รับได้จากขบวนการคลื่นและเครื่องรับสหสัมพันธ์ ส่วนในเรื่องของหลักการวิเคราะห์จะกล่าวถึงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ ผลตอบสนองความถี่ของช่องสัญญาณ การสูญเสียเชิงวิถี ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน ของสัญญาณในการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่ง

บทที่ 4 กล่าวถึงการวัดช่องสัญญาณและแบบจำลองการวัด ได้แก่ ระบบการวัดช่องสัญญาณ เครื่องมือหลักที่ใช้ในการทดลอง การจัดเก็บผลและประมวลผลการทดลอง โดยในส่วนของระบบการวัดช่องสัญญาณจะกล่าวถึง แบบแผนการวัด แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัด

บทที่ 5 นำเสนอผลการทดลองวิจัยและการอภิปรายผล ซึ่งแบ่งเป็น ผลการทดลองของแบบจำลองการทดลอง 2 แบบ โดยแบบจำลองแรกเป็นการวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบในตำแหน่งต่างๆ ของร่างกาย ส่วนแบบจำลองที่สองเป็นการวิเคราะห์ผลและได้เปรียบเทียบกับระหว่างกรณีที่มีการบัดบังร่างกายมนุษย์และกรณีไม่มีการบัดบังจากร่างกายมนุษย์

บทที่ 6 กล่าวถึงสรุปผลการทดลองวิจัยและข้อเสนอแนะจากการศึกษาการประเมินผลการทดลองของรูปคลื่นส่งผ่านบนร่างกายมนุษย์แบบแถบกว้างยิ่ง

บทที่ 2

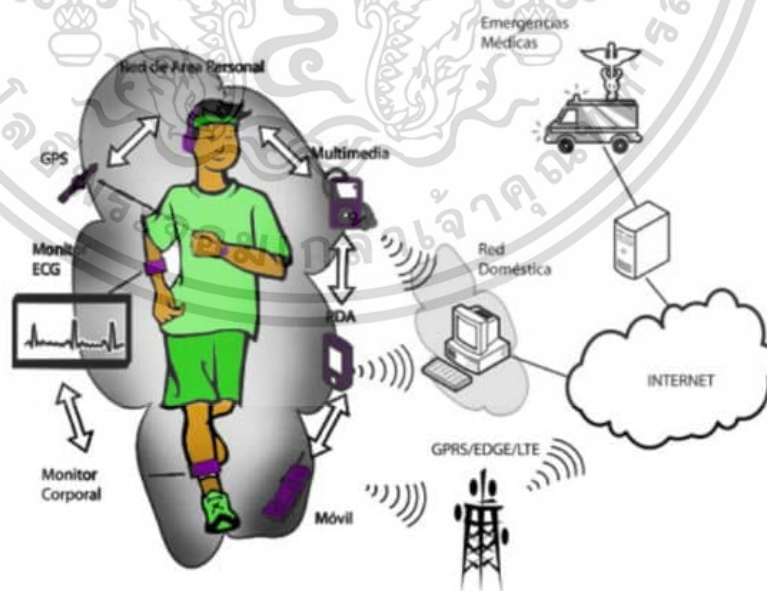
เทคโนโลยีโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์

2.1 กล่าวนำ

โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ (Wireless Body Area Network: WBAN) ได้ถูกกล่าวถึงครั้งแรกในส่วนของโครงข่ายส่วนบุคคล (Personal Area network: PAN) ได้รับการยกย่องในการสร้างสรรค์แนวคิดเรื่องโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ โดยมีพื้นฐานจากงานของเขาที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งแมสซาชูเซตส์ (MIT) และที่ บริษัทไอบีเอ็มเขาได้พูดถึงการรวมกันของอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่มีขนาดเล็ก และการเชื่อมต่อการสื่อสารไร้สายระยะสั้น การเชื่อมต่อนั้นถูกสร้างขึ้นผ่านการติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ใกล้เคียงน้อยกว่า 2 เมตร ในปี 2004 โครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ ได้อธิบายสภาพแวดล้อมรวมถึงบริเวณที่ใกล้ที่สุดซึ่งก็คือส่วนหนึ่งของร่างกายมนุษย์

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

รูปที่ 2.1 แสดงขอบเขตของระบบการสื่อสารไร้สายอื่นๆ โดยจะเห็นว่าโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ไร้สายได้นำเสนอวิธีการของการสื่อสารระยะสั้นเพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่อยู่รอบๆร่างกายมนุษย์โดยคำนึงถึงความปลอดภัยของร่างกายด้วย โดยสามารถนำมาใช้กับการสื่อสารทางการแพทย์ การดูแลสุขภาพ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในร่างกายมนุษย์



รูปที่ 2.1 การสื่อสารของเทคโนโลยีไร้สายบนร่างกายมนุษย์ [21]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ในการพัฒนาได้ก้าวหน้าทางเทคโนโลยีล่าสุดมีการใช้วงจรไฟฟ้าที่มีขนาดเล็ก ใช้พลังงานต่ำ และใช้งานในระบบไร้สายอย่างไรก็ตามวิศวกร หรือนักออกแบบต้องเผชิญกับงานที่ท้าทายความสามารถในการสร้างหรือออกแบบอุปกรณ์ เช่น ต้องอยู่ในภาวะเบียบข้อบังคับ รูปแบบช่องสัญญาณ การใช้พลังงานที่ต่ำ ผลกระทบของอุณหภูมิ สายอากาศและการสูญเสียบนร่างกายมนุษย์ การสื่อสารที่มีประสิทธิภาพ อัตราการส่งข้อมูลที่เหมาะสม และมีความน่าเชื่อถือที่สูงมาก เป็นต้น

2.1.1 โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์และการตรวจสอบสุขภาพทางการแพทย์

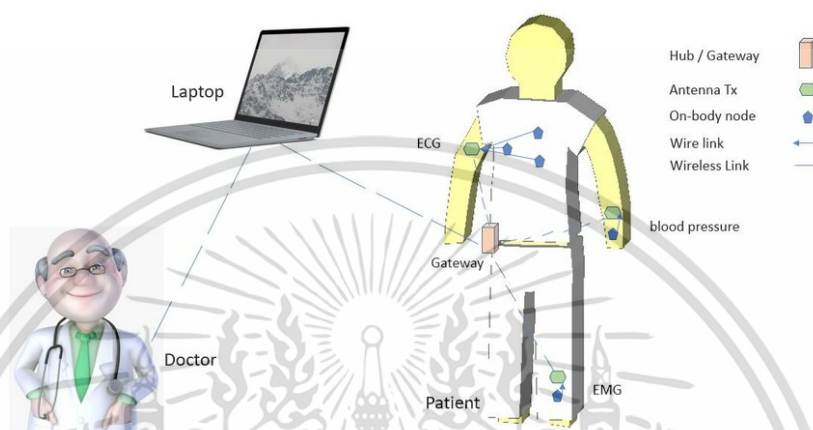
ปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้งานโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ถูกพัฒนามาใช้สำหรับการรักษาดูแลสุขภาพ การตรวจวัดสมรรถนะของร่างกาย การติดตามเฝ้าดูอาการผู้ป่วย โดยจะมีการติดตั้งเซนเซอร์ตำแหน่งต่าง ๆ ของร่างกายมนุษย์ โดยที่อุปกรณ์ดังกล่าวสามารถส่งสัญญาณข้อมูลกลับมายังผู้ใช้งาน หรือแพทย์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์อาการ หรือเฝ้าระวังอาการของผู้ป่วย เพื่อป้องกันและทำให้สามารถตรวจพบโรคได้ก่อน

ระยะเวลาในสองสามปีที่ผ่านมาได้มีการเพิ่มจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดสุขภาพ ตรวจสอบรูปคลื่น ตรวจสอบสิ่งผิดปกติต่างๆที่เกิดขึ้น การตรวจวิเคราะห์หัวใจคลื่นไฟฟ้าแบบพกพาที่มีการใช้เซนเซอร์ที่มีราคาแพงและซับซ้อน ถึงแม้จะได้รับการยอมรับในวงกว้างในระบบปัจจุบันก็ตาม แต่ยังคงถูกจำกัดด้วยราคาสูง และการใช้งานร่วมกับเทคโนโลยีอื่น ๆ

ในการตรวจสอบทางการแพทย์ส่วนบุคคลมีการใช้เพื่อเก็บข้อมูลเพียงอย่างเดียว ส่วนการประมวลผลและการวิเคราะห์นั้นถูกดำเนินการแบบออฟไลน์ ทำให้อุปกรณ์ใช้งานได้ไม่ต่อเนื่องและอาจทำให้มีความผิดปกติในการตรวจสอบทางการแพทย์ ระบบที่ประกอบไปด้วยเซนเซอร์จำนวนมากเพื่อใช้ในการฟื้นฟูสภาพร่างกายมีการเชื่อมต่อสายไฟระหว่างตัวเซนเซอร์กับระบบตรวจสอบสายไฟดังกล่าวอาจทำให้ผู้ป่วยไม่สามารถทำกิจกรรมบางอย่างได้อย่างสะดวกสบาย ส่งผลทำให้มีผลกระทบกับข้อมูลที่วัดได้ และเหตุผลนี้เองทำให้มีการสร้างระบบตรวจสอบสุขภาพร่างกายแบบไร้สายซึ่งใช้ในระบบ WBAN

วิวัฒนาการความก้าวหน้าทางการแพทย์และการประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับการดูแลสุขภาพได้ถูกนำเสนอในรูปที่ 2.2 จากรูปขั้นตอนที่ 1 ข้อมูลสุขภาพร่างกายถูกรวบรวมด้วยการใช้เซนเซอร์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลายตัวที่ถูกติดอยู่ตามส่วนต่างๆที่สำคัญของร่างกาย โดยที่ข้อมูลดังกล่าวจะถูกส่งไปยังหน่วยคำสั่ง ขั้นตอนที่ 2 เมื่อหน่วยคำสั่งได้รับข้อมูลจากส่วนแรกมาแล้ว จะทำการตัดสินใจในการหาวิธีการรักษาหรือการให้ยาที่เหมาะสม โดยจะส่งคำสั่งไปยังหน่วยดำเนินการ ขั้นตอนที่ 3 หน่วยดำเนินการจะทำการรักษาหรือให้ยาผู้ป่วย เมื่อทำการรักษาหรือให้ยาเสร็จสิ้น เซนเซอร์จะรวบรวมข้อมูลการดูแลสุขภาพที่สำคัญ เพื่อนำไปเข้ากระบวนการอื่นต่อไป

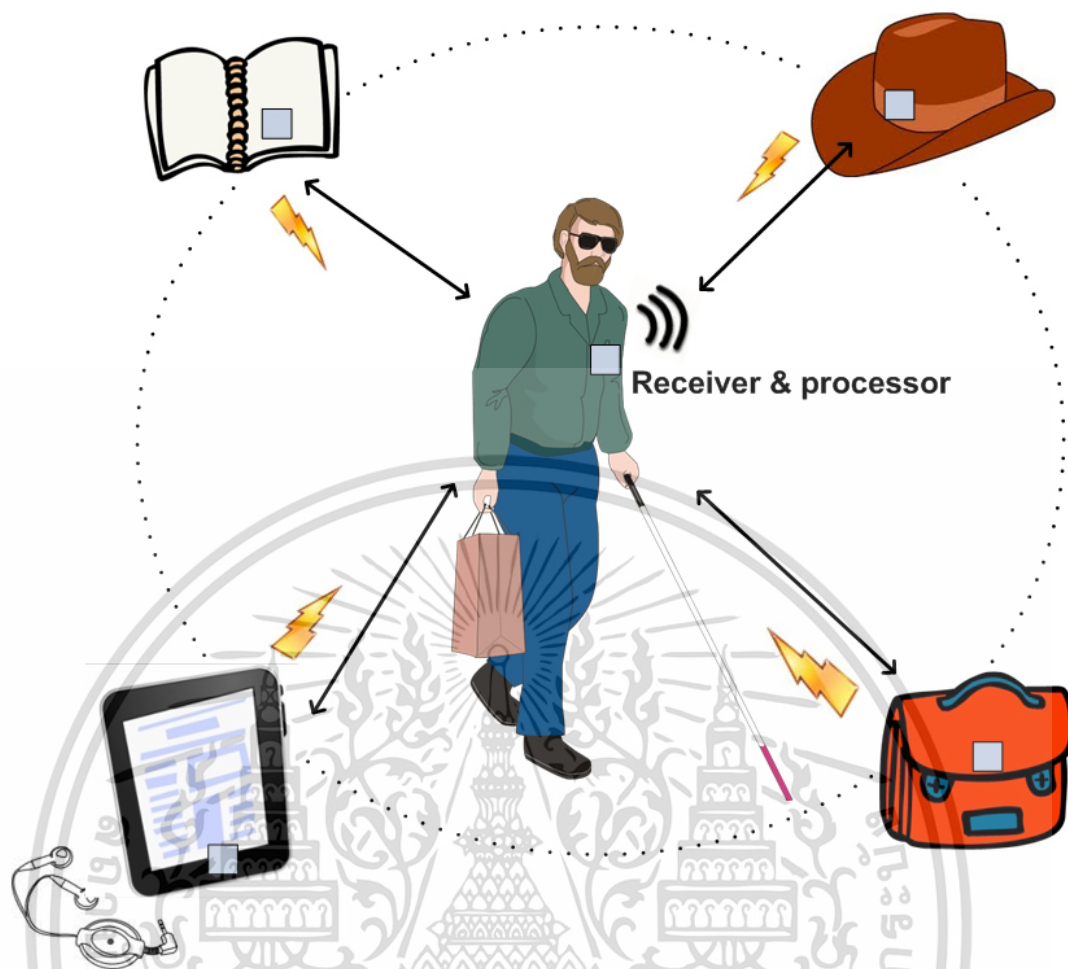


รูปที่ 2.2 การพัฒนาระบบควบคุมการดูแลทางการแพทย์ [21]

แรงบันดาลใจในทางการแพทย์เป็นการช่วยชีวิต และพัฒนาทางด้านการแพทย์ให้มีการตรวจวินิจฉัยโรค และรักษาได้รวดเร็วขึ้น WBAN สามารถใช้เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการให้ความช่วยเหลือทางการแพทย์ จุดประสงค์หลักของการบริการดูแลสุขภาพผู้ป่วยที่บ้าน คือการพัฒนาคุณภาพชีวิตและเพิ่มความเป็นอิสระของผู้ป่วยโดยการรักษาที่บ้าน และการดูแลผู้ป่วยที่บ้านรวมถึงสภาพแวดล้อม จะถูกแทนที่การรักษาที่แพงของโรงพยาบาล

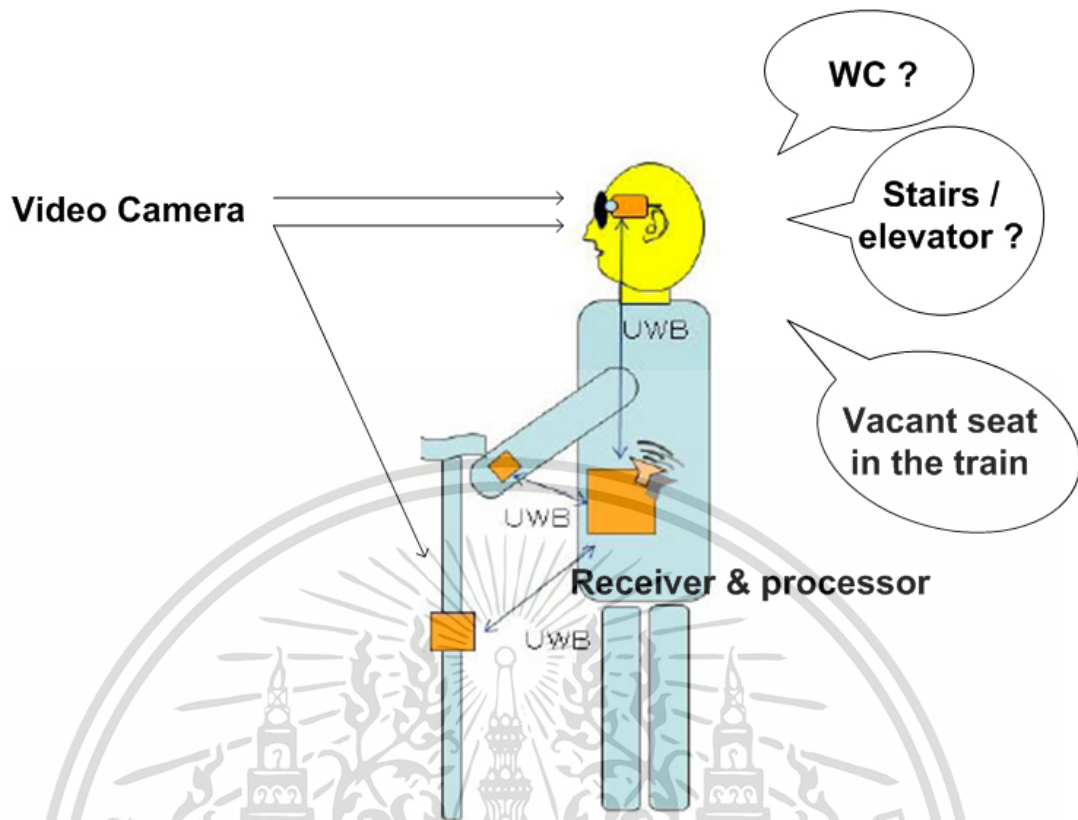
2.1.2 การประยุกต์ใช้งาน

มีการประยุกต์ใช้มากมายและมีการใช้รูปแบบที่ช่วยให้มีความสะดวกสบายมากขึ้นโดยการใช้ WBAN รูปที่ 2.3 แสดงถึงการประยุกต์ใช้งานในการช่วยเหลือผู้ที่มีความพิการทางสายตา เครื่องมือตรวจวัดได้ถูกติดกับสิ่งของต่าง ๆ ของผู้ที่มีความพิการทางสายตา จากนั้นต้องมีการกำหนดค่าเริ่มต้นของระยะห่างของเครื่องมือตรวจวัดกับเครื่องรับสัญญาณ หากผู้พิการทางสายตาลืมสิ่งของไว้หรืออยู่ห่างจากค่าที่ได้กำหนดไว้ เครื่องรับสัญญาณจะส่งสัญญาณเตือน



รูปที่ 2.3 โครงข่ายไร้สายบนร่างมนุษย์สำหรับผู้พิการทางสายตาตรวจหาสัมภาระต่าง ๆ [21]

อีกทั้งได้มีการพัฒนาให้มีกล้องที่ติดกับผู้พิการทางสายตา เช่น แว่นตา หรือไม้เท้า ภาพวิดีโอที่ถ่ายโดยกล้องและถูกส่งไปยังเครื่องรับที่ติดอยู่ที่ผู้พิการทางสายตา โดยภาพที่ถ่ายได้จะถูกแปลงให้เป็นเสียง เพื่อนำทางให้กับผู้พิการทางสายตา ดังรูปที่ 2.4 หลักการที่คล้ายคลึงกันสามารถนำมาใช้ช่วยเหลือผู้พิการด้านการพูด โดยใช้เซนเซอร์ที่ติดที่มือ เพื่อหาการเคลื่อนไหวของมือ โดยข้อมูลที่ได้รับจากเซนเซอร์จะถูกเปลี่ยนให้เป็นเสียงพูด



รูปที่ 2.4 โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์สำหรับผู้พิการทางสายตาค้นหาด้วยกล้องวิดีโอ [21]

สำหรับใช้ร่างกายเป็นศูนย์กลาง ส่วนที่ติดต่อกับผู้ที่ใช้งาน เช่น หูฟังไร้สาย วีดีโอสตรีมมิ่ง การควบคุมเกมส์ด้วยเซนเซอร์ ข้อมูลความบันเทิงต่าง ๆ การประยุกต์ใช้ WBAN ไม่เพียงแต่เพิ่มความสะดวกสบายที่ไม่มีการใช้สายเข้ามาเกี่ยวข้องแต่ยังให้วิธีการแบ่งปันข้อมูล ยกตัวอย่างเช่น ผู้ใช้งานสองคนหรือมากกว่าสามารถใช้เครื่องเล่นดนตรี หรือวิดีโอ ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์สำหรับเดินตามจังหวะดนตรีและเสียงเพลงร่วมกัน [21]
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เห็นไปขอประเมินดำเนินการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ประวัติของการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง [7]

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

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

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

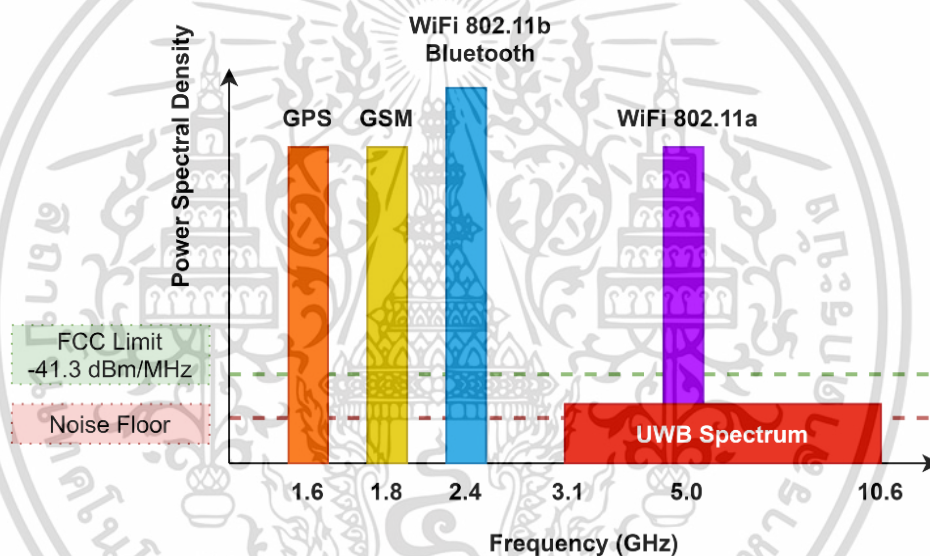
ในปี ค.ศ. 1994 เทคโนโลยีแถบความถี่กว้างยิ่งได้ถูกพัฒนาเพื่อใช้ในระบบการติดต่อสื่อสารอย่างรวดเร็วโดยรัฐบาลสหรัฐอเมริกา จนปี ค.ศ. 1998 ได้มีการเริ่มพิจารณามาตรฐานและข้อกำหนด

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง

ระบบแถบกว้างยิ่งเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่แตกต่างจากการสื่อสารทางคลื่นความถี่วิทยุแบบอื่น ๆ โดยจุดเด่นของระบบแบบแถบกว้างยิ่งคือ เป็นระบบสื่อสารที่ไม่ต้องใช้คลื่นพาหะเหมือนในระบบอื่น สัญญาณของระบบแบบกว้างยิ่งเป็นสัญญาณคลื่นวิทยุแบบอิมพัลส์ (Impulse radio) โดยเป็นพัลส์ที่มีขนาดแคบขนาดประมาณ 0.2 นาโนวินาที จึงทำให้มีความหนาแน่นแถบความถี่ (Spectral density) ที่กว้างมาก ดังนั้นจึงแผ่กระจายครอบคลุมช่วงความถี่ได้กว้างในระดับ GHz 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

จากข้อกำหนดโดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาได้กำหนดให้กำลังงานในการส่งนั้นมีค่าสูงสุดไม่เกิน -41.3 dBm ทำให้มีการแพร่กระจายกำลังงานในระดับต่ำประมาณระดับของสัญญาณรบกวน (noise floor) จึงทำให้ระบบอื่นมองว่าสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนี้คือ

สัญญาณรบกวน เลยถูกกำจัดออกจากการพิจารณาของระบบ ทำให้ไม่มีผลกระทบต่อระบบอื่น ๆ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญต์เห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีอัตราการส่งข้อมูลสูง

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

- เป็นระบบที่มีต้นทุนต่ำ

ระบบแถบความถี่กว้างยิ่งเป็นระบบที่มีต้นทุนที่ต่ำเนื่องจากการส่งสัญญาณนั้นไม่เหมือนกับระบบการส่งสัญญาณวิทยุแบบอื่น ๆ โดยเครื่องส่งจะทำการสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความถี่สูงทำให้ความกว้างของสัญญาณแคบมาก ๆ ทำให้สามารถแพร่กระจายคลื่นโดยไม่จำเป็นต้องมีคลื่นพาห้และไม่ต้องมีวงจรในส่วนของการรวมสัญญาณวิทยุ และการเพิ่มกำลังให้สูงขึ้นและในส่วนของภาครับไม่มีวงจรรวมผลิตความถี่ (Mixer) ทำให้ลดความซับซ้อนของระบบและต้นทุนในการผลิตลงไปมาก

- มีความละเอียดสูงในโดเมนเวลาสำหรับกำหนดตำแหน่ง

ด้วยพัลส์ที่มีลักษณะทางโดเมนเวลาที่แคบมาก ๆ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าเป็นพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณน้อยมาก ๆ นั้นหมายถึง ระบบคลื่นวิทยุแบบแถบกว้างยิ่งมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถควบคุมจังหวะและค่านวนเวลาได้อย่างถูกต้องแม่นยำมากกว่าระบบดาวเทียมบอกพิกัด (Global positioning system: GPS) และระบบคลื่นวิทยุแบบอื่น ๆ อีกทั้งด้วยคุณสมบัติในการทะลุผ่านวัสดุได้ดีจึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งที่มีการมอดูเลตทางเวลาถูกนำมาใช้งานในระบบเรดาร์ระยะสั้น เช่นในการช่วยเหลือชีวิตและปฏิบัติการป้องกันอาชญากรรมต่าง ๆ ทั้งภายในและภายนอกอาคาร เช่นเดียวกับการใช้ในงานสำรวจและในอุตสาหกรรมการทำเหมืองในระยะใกล้

- มีระดับของสัญญาณใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวน (Noise)

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

2.4 กฎข้อบังคับการทำงานของระบบแถบกว้างยิ่ง

โครงข่ายการสื่อสารไร้สายได้ถูกกำหนดการใช้งานคลื่นวิทยุ และคลื่นความถี่ ตามกฎข้อบังคับของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ ที่ดูแลเกี่ยวกับการบริหารคลื่นความถี่ (ITU-R) และในแต่ละประเทศจะมีองค์กรที่จัดการเรื่องกฎข้อบังคับต่าง ๆ เช่น คณะกรรมาธิการการสื่อสาร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ 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

นอกจากจัดการบริหารคลื่นความถี่วิทยุแล้วยังดูแลด้านความเสี่ยงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีผลต่อสุขภาพของมนุษย์ 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 ๆ ร่างกาย 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 เช่น ญี่ปุ่น เกาหลี จีน และอีกหลายประเทศที่กำลังพัฒนาระบบการสื่อสาร ซึ่งในสหรัฐอเมริกา มีกลุ่มทำงานที่ชื่อว่า “Ultra-Wideband Working Group (UWBWG)” ได้พยายามทำการถอดถอนการจำกัดของข้อกำหนดในการใช้งานช่วงความถี่ของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งจากกฎข้อบังคับเดิมของคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาเพื่อทำการเจรจาข้อตกลงร่วมกันเช่นเดียวกับในยุโรปก็ได้มีการหาข้อตกลงการจัดสรรคลื่นความถี่และการแทรกสอดของคลื่นวิทยุซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีการกำหนดแถบความถี่สำหรับการใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่งในสถาบันกำหนด สหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International telecommunication union; ITU)

2.4.1 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา

ในปี ค.ศ. 1998 FCC ได้ออกประกาศเกี่ยวกับการตรวจสอบหรือ Notice of Inquiry (NOI) เนื่องจากมีความเป็นห่วงว่าจะมีผลต่อการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบที่มีอยู่เดิมและระบบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความปลอดภัยในการบิน ระบบสื่อสารในเรือ และทิศทางในการหาตำแหน่งด้วยระบบแถบกว้างยิ่งได้เช่นกัน

เมื่อเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งได้ถูกเสนอสำหรับการนำมาใช้ในกิจการการสื่อสารของพลเรือน ซึ่งยังไม่ได้มีการกำหนดใดๆ สำหรับลักษณะสัญญาณที่จะนำมาใช้ จึงได้มีหน่วยงานหนึ่งที่ชื่อว่า DARPA (Defense Advanced Research Project Agency) ได้ทำการออกข้อกำหนดฉบับที่หนึ่ง สำหรับสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งซึ่งอยู่บนพื้นฐานอัตราส่วนแบนด์วิดท์ B_f ของสัญญาณโดยต้องมีค่ามากกว่าร้อยละ 20 ของแถบความถี่กลาง หรือมีการใช้แถบความถี่มากกว่าหรือเท่ากับ 500 MHz โดยสามารถกำหนดได้ตามสมการที่ 2.1 [8]

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

เมื่อ f_L คือ ความถี่ต่ำสุดและ f_H คือความถี่สูงสุดของแถบความถี่ที่ใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่ง

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

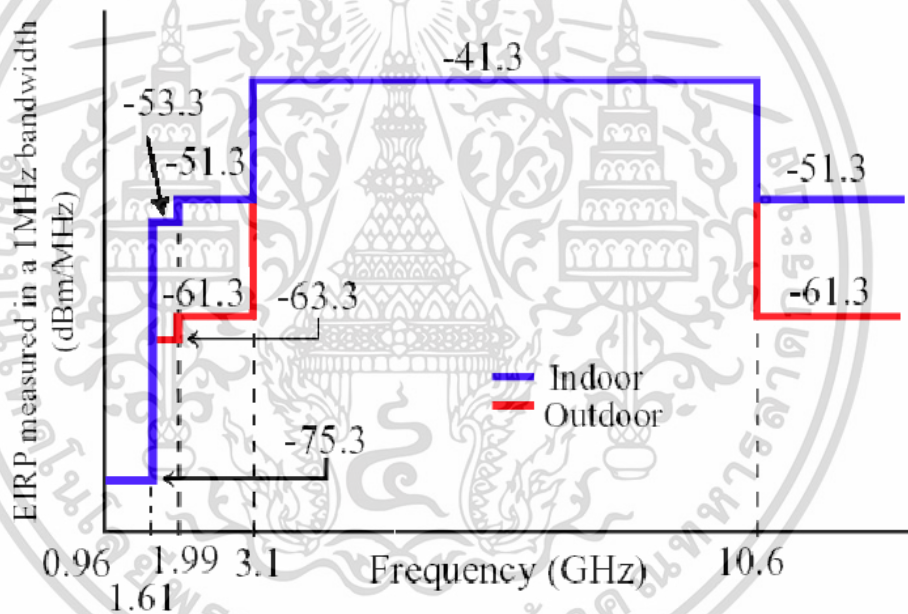
ตารางที่ 2.1 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงานโดยคณะกรรมการกิจการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร [8]

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

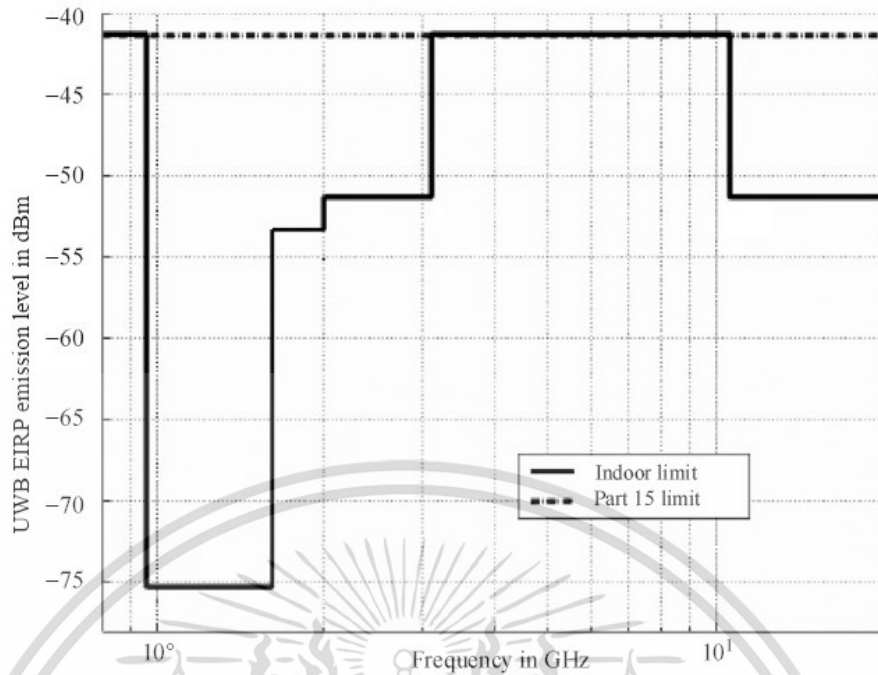
กำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิก (Equivalent Isotropically Radiated Power: E.I.R.P.) สำหรับเครื่องส่งของการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งจะถูกกำหนดค่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงาน โดยการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งจะมีการใช้งานภายในอาคารหรือบนมือถือ รูปที่ 2.7 เปรียบเทียบของค่าเฉลี่ยความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของการใช้งานภายในอาคารและบนมือถือ จะเห็นได้ว่าค่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานมีค่าเท่ากันในช่วงความถี่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz อย่างไรก็ตามค่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานบนมือถือที่มีค่าน้อยกว่าระดับภายในอาคารอยู่ 10 dB จะอยู่ในช่วงความถี่ 1.61 GHz ถึง 3.1 GHz และช่วงความถี่มากกว่า 10.6 GHz

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



รูปที่ 2.7 หน้ากากสเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งกำหนดโดย FCC [21]

โดยในรูปที่ 2.8 และ 2.9 การเปรียบเทียบข้อกำหนดสเปกตรัมตามของอุปกรณ์การสื่อสาร แถบกว้างโดย FCC



รูปที่ 2.8 หน้ากากสเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคารกำหนดโดย FCC [9]



รูปที่ 2.9 หน้ากากสเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งภายนอกอาคารกำหนดโดย FCC [9]

2.5 การประยุกต์และการนำระบบแถบกว้างยิ่งไปใช้งาน

ระบบแถบกว้างยิ่งนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายรูปแบบดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 การประยุกต์ใช้งานเครือข่ายภายในอาคารสำนักงาน

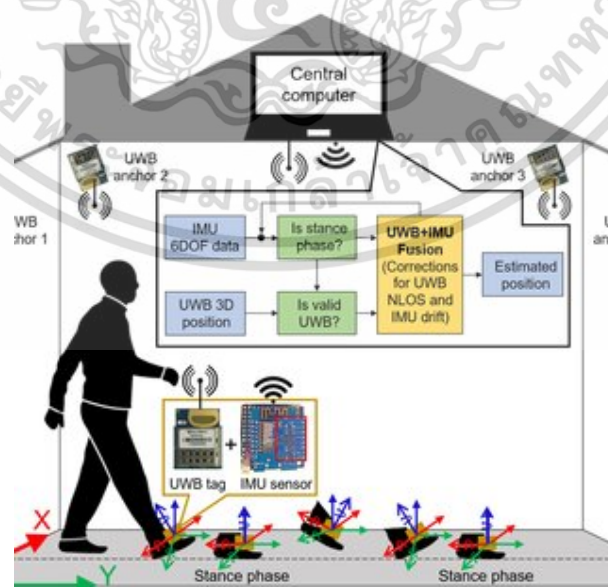
การนำเทคโนโลยีแบบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานในการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภายในอาคารสำนักงาน ซึ่งระบบการสื่อสารแบบไร้สายระยะสั้นมีความต้องการอัตราการส่งข้อมูลสูง เพื่อรองรับระบบมัลติมีเดียที่ใช้ในอาคารสำนักงานดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งสำหรับโครงข่ายไร้สายระหว่างรถยนต์และโทรศัพท์มือถือ [10]

2.5.2 การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายภายในที่พกอาศัย

เป็นการนำเทคโนโลยีแบบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานในการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภายในที่พกอาศัย เช่น คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล เครื่องเล่นดีวีดี ทีวี กล้องดิจิทัล เป็นต้น ดังรูปที่ 2.11

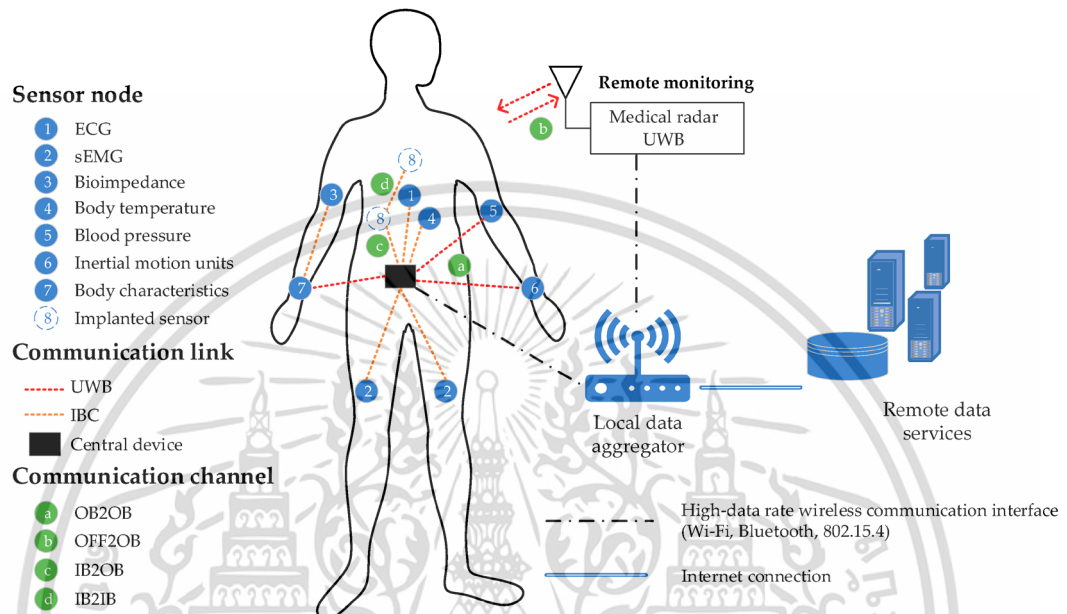


รูปที่ 2.11 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งสำหรับโครงข่ายบ้านพกอาศัย [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 การประยุกต์เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งสำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์

การนำเทคโนโลยีแบบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานในการเชื่อมต่อกับอวัยวะต่างๆของร่างกายมนุษย์ เพื่อให้อวัยวะของร่างกายสามารถสื่อสารกับโลกภายนอกได้ โดยมีประโยชน์โดยตรงต่อวิชาการทางการแพทย์สำหรับดูแลสุขภาพ ตรวจวัดสมรรถภาพ เป็นต้น ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 เทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งประยุกต์ใช้สำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ [20]

2.5.4 การประยุกต์ใช้งานในการค้นหาตำแหน่ง

เทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบเรดาร์ เพราะเป็นเทคโนโลยีที่มีราคาต้นทุนต่ำ เนื่องจากระบบเรดาร์เป็นระบบที่ยังมีความต้องการของตลาดในอนาคต สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบการเคลื่อนที่ของวัตถุ, ตรวจสอบเพื่อหลีกเลี่ยงการชน, การตรวจจับความเร็วบนถนน, ใช้เป็นระบบรักษาความปลอดภัยส่วนบุคคลในการตรวจสอบการเคลื่อนที่ในพื้นที่ที่เราต้องการความปลอดภัยสูงหรือพื้นที่ที่ต้องการความเข้มงวดในการตรวจสอบสูง, ประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบทะลุผ่านวัสดุที่ใช้ทำอาคารเช่น ไม้, อิฐ, อิฐบล็อก, ไฟเบอร์, พลาสติก และคอนกรีต ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 เทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งสำหรับการหาตำแหน่ง [21]

2.6 สรุป

บทนี้ได้กล่าวถึงเทคโนโลยีโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ และเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันรวมถึงข้อกำหนดการทำงานระบบ เช่น แถบความถี่ กำลังงานส่ง รูปแบบสัญญาณส่ง และการประยุกต์ใช้งานตามข้อบังคับต่าง ๆ ของแต่ละประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา ยุโรป ญี่ปุ่น เกาหลี และจีน ไม่ว่าจะเป็นช่วงความถี่ที่ใช้งานซึ่งจะสัมพันธ์กับแบนด์วิดท์ของระบบ ระดับกำลังงานที่แพร่กระจายทั้งภายในและภายนอกอาคาร ที่กำหนดโดยองค์กรที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องอาทิ เช่น คณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา และสถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป หรือ สหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ การประยุกต์และการนำไปใช้งานในด้านต่าง ๆ ของการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นองค์ความรู้เบื้องต้นของระบบการแบบแถบกว้างยิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

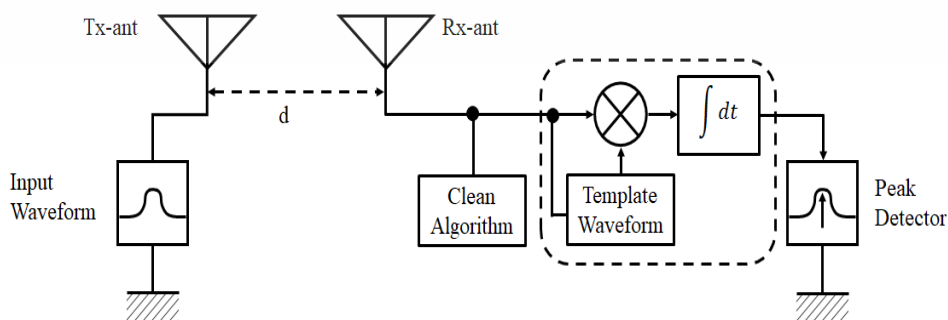
การวิเคราะห์โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์แถบกว้างยิ่ง

3.1 กล่าวนำ

การสื่อสารวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งเป็นการสื่อสารไร้สายที่จำเป็นต้องพิจารณาผลกระทบในปัจจุบันต่างๆ ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณไม่ว่าจะเป็นรูปแบบของสัญญาณที่แตกต่างไปจากเดิม ระดับของกำลังงาน แม้กระทั่งเวลาประวิงที่เกิดขึ้น ซึ่งค่าเหล่านี้มีความสำคัญที่จะต้องนำมาวิเคราะห์ช่องสัญญาณของระบบการสื่อสาร โดยที่เมื่อระบบทำการส่งสัญญาณจากภาคส่งไปยังภาครับ สิ่งแวดล้อมโดยรอบหรือช่องสัญญาณจะส่งผลกระทบต่อสัญญาณการสื่อสาร จึงจำเป็นต้องมีวิธีการวิเคราะห์ระบบ เพื่อประเมินผลคุณลักษณะของช่องสัญญาณ การส่งผ่านช่องสัญญาณ และนำไปสู่การปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารให้ดียิ่งขึ้น

3.2 แบบจำลองการส่งผ่านสำหรับระบบ UWB-IR

ในการส่งผ่านสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่งนั้นจะมีลักษณะแตกต่างจากการส่งสัญญาณคลื่นวิทยุโดยทั่วไปเนื่องจากการส่งสัญญาณในโดเมนทางเวลาและสัญญาณที่ใช้ในการส่งผ่านนั้นไม่มีการมอดูเลชันกับสัญญาณพาหะก่อนทำการส่งสัญญาณออกผ่านสายอากาศทางด้านส่ง เนื่องจากตามข้อกำหนดโดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา ได้กำหนดให้ใช้ความถี่ในย่าน 3.1 กิกะเฮิรต ถึง 10.6 กิกะเฮิรต ซึ่งมีแถบความถี่กว้างมาก ในกระบวนการการส่งสัญญาณนั้นเริ่มจากการสร้างสัญญาณที่ใช้ในการส่งผ่านเป็นสัญญาณอินพุทเวฟฟอร์ม ส่งผ่านไปยังสายอากาศด้านส่ง ผ่านช่องสัญญาณไปยังสายอากาศทางด้านรับ เมื่อสัญญาณเดินทางมาถึงสายอากาศทางด้านรับแล้วจากนั้นสัญญาณที่ได้ผ่านกระบวนการส่งผ่านโดยพิจารณาทางด้านรับเป็นแบบสหสัมพันธ์ (Correlation Receiver)



รูปที่ 3.1 ระบบของการวิเคราะห์การส่งผ่านสำหรับระบบ UWB-IR [36]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้ค่าอัตราส่วนกำลังสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR) มีค่าสูงมากที่สุด จากนั้นจึงมาถึงขั้นตอนของการตรวจจับสัญญาณและนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์เปรียบเทียบความสอดคล้องระหว่างในทางทฤษฎีและทางปฏิบัติต่อไป ซึ่งกระบวนการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่งดังกล่าวสามารถดูได้ดังรูปที่ 3.1

3.2.1 สัญญาณส่งแบบแถบกว้างยิ่ง

รูปคลื่นสัญญาณส่งสามารถใช้ในการทดสอบความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นสัญญาณการรับของระบบการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่งได้ แต่ผลของความผิดเพี้ยนของสัญญาณรูปคลื่นนั้นจะเห็นได้ชัดเจนมากเมื่อความกว้างของแถบความถี่นั้นกว้างขึ้น ดังนั้นจะพิจารณาตลอดช่วงความถี่ของเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ที่กำหนดขึ้นโดย FCC [13] โดยใช้รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม (Rectangular Pass Band Waveform) มีช่วงแถบความถี่ตั้งแต่ 3.1 กิกะเฮิร์ต ถึง 10.6 กิกะเฮิร์ต มีความถี่ศูนย์กลางและแบนด์วิดท์รวมเท่ากับ 6.85 GHz และ 7.5 GHz รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมที่ใช้วิเคราะห์มีนิยามดังสมการที่ (3.1) และฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมของรูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมแสดงได้ดังสมการที่ (3.2)

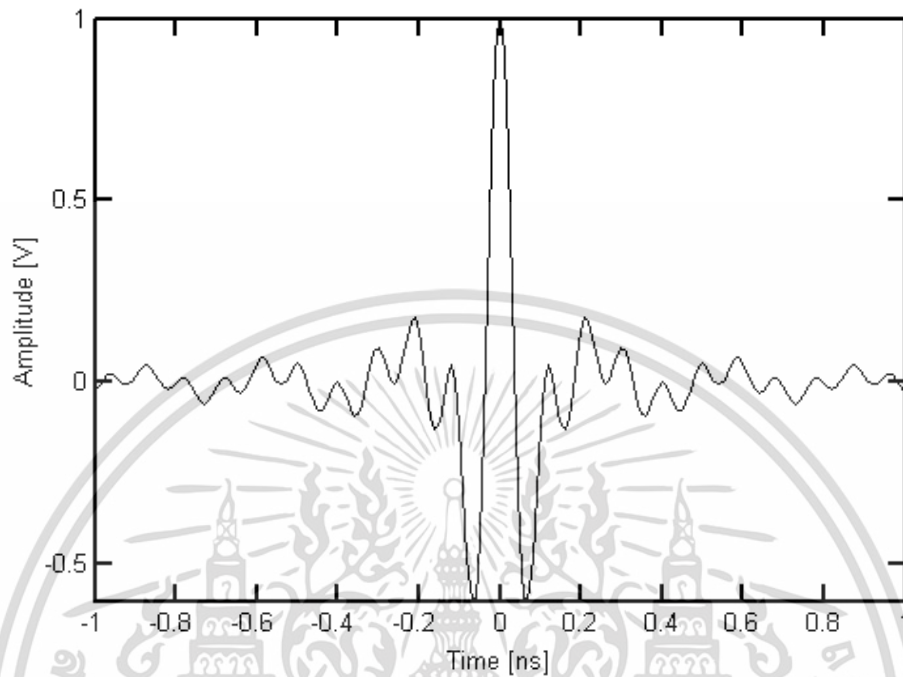
$$v_t(t) = \frac{1}{f_b} [f_{\max} \text{sinc}(2f_{\max}t) - f_{\min} \text{sinc}(2f_{\min}t)] \quad (3.1)$$

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

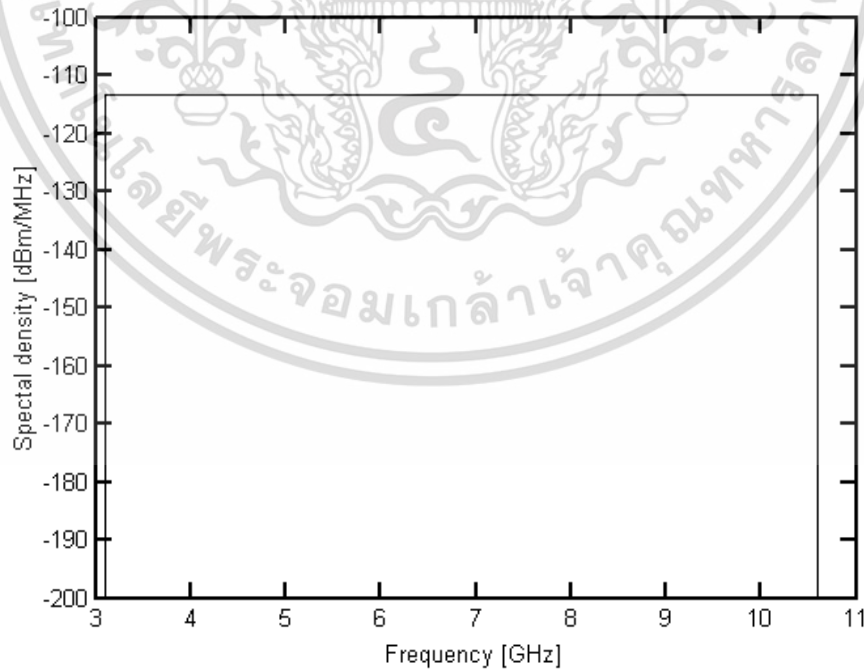
เมื่อ A คือ แอมพลิจูดสูงสุด f_b คือ แบนด์วิดท์รวม f_c คือ ความถี่ศูนย์กลาง
 f_{\min} คือ ความถี่ต่ำสุด f_{\max} คือ ความถี่สูงสุด

รูปคลื่นนี้มีความหนาแน่นสเปกตรัมเป็นรูปสี่เหลี่ยมทั้งในด้านความถี่บวกและความถี่ลบ โดยความหนาแน่นสเปกตรัมจะมีขนาดคงที่เท่ากับ $A/2f_b$ อยู่ในช่วงความถี่ตั้งแต่ $-f_{\max}$ ถึง $-f_{\min}$ และ f_{\min} ถึง f_{\max} และจะมีเฟสเป็นศูนย์ รูปคลื่นนี้เป็นรูปคลื่นแบบแถบกว้างยิ่งในอุดมคติ ดังนั้นจึงใช้พิจารณาหาขอบจำกัดสูงสุดที่เป็นไปได้ของแบนด์วิดท์มากที่สุด แอมพลิจูดมากที่สุด และกำลังมากที่สุดของรูปคลื่นแบบแถบกว้างยิ่ง รูปคลื่นนี้将有ความสมมาตรแบบฟังก์ชันคู่ และมีส่วนประกอบกระแสตรง (DC) เป็นศูนย์ รูปที่ 3.2 แสดงถึงรูปคลื่นสัญญาณที่ใช้ในโดเมนเวลาโดยแกน X แสดงถึงค่าของเวลาและแกน Y แสดงถึงขนาดของแอมพลิจูดที่ใช้ในการส่งผ่านระบบวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งมีค่าเท่ากับ 1 โวลต์ รูปที่ 3.3 แสดงถึงความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของรูปคลื่นที่ใช้ในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การส่งผ่านระบบวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งในโดเมนความถี่ โดยมีแกน X แสดงถึงค่าความถี่และแกน Y แสดงถึงค่าความหนาแน่นสเปกตรัมในหน่วยของ dBm/MHz



รูปที่ 3.2 รูปคลื่นสัญญาณการส่งผ่านของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง [11]



รูปที่ 3.3 สเปกตรัมสัญญาณการส่งผ่านของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การประยุกต์ใช้สูตรการส่งผ่านสัญญาณของฟรีสสำหรับระบบแถบกว้างยิ่ง

ในระบบสื่อสารไร้สายสัญญาณที่ต้องการจะส่งจะถูกบ่อนไปยังสายอากาศเพื่อที่จะแปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อคลื่นสัญญาณผ่านอากาศมาถึงภาครับสายอากาศก็จะทำหน้าที่แปลงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากลับเป็นสัญญาณไฟฟ้าเช่นเดิม ดังนั้น ช่องสัญญาณจากการวัดจริงนอกจากอวกาศว่างแล้วจะรวมในส่วนของสายอากาศส่งและสายอากาศรับเข้าไปด้วย สมการการส่งผ่านของฟรีส (Friis' Transmission Equation) [1] ได้ถูกนำมาพิจารณาใช้ในระบบแบบแถบแคบซึ่งมีค่าเป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังงานของสัญญาณที่รับได้ต่อกำลังงานของสัญญาณที่ถูกส่งออกมา ดังสมการที่ (3.3)

$$G_{\text{Friis}}(f) = \frac{P_r(f)}{P_t(f)} = G_t(f)G_i(f)G_r(f) \quad (3.3)$$

โดยที่ $P_t(f)$ และ $P_r(f)$ คือ กำลังของสัญญาณด้านส่งและกำลังของสัญญาณด้านรับ $G_t(f)$ และ $G_r(f)$ เป็นอัตรายายของสัญญาณด้านส่งและสัญญาณด้านรับในรูปของเดซิเบล ส่วน $G_i(f)$ คืออัตรายายของช่องสัญญาณในอวกาศว่าง ซึ่งหาได้จากสมการ (3.3) ที่ผ่านมา

จากสมการที่ (3.4) สามารถปรับปรุงสมการการส่งผ่านของฟรีสให้เหมาะสมกับระบบสื่อสารแถบกว้างเช่นเดียวกับสมการที่ (3.3) โดยเขียนอยู่ในรูปของฟังก์ชันการถ่ายโอนดังนี้

$$H_c(f, d) = \frac{V_r(f)}{V_t(f)} = H_t(f, d)H_i(f)H_r(f) \quad (3.4)$$

เมื่อ V_t และ V_r เป็นแรงดันของสัญญาณที่ส่งและรับ
 H_t และ H_r เป็นฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของสายอากาศส่งและรับ
 d เป็นระยะทางระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับ

3.2.3 สัญญาณที่รับได้

ต่อมาได้มีการพัฒนาสมการมาใช้คำนวณรูปคลื่นการส่งผ่าน โดยการเพิ่มฟังก์ชันการส่งผ่านของสัญญาณส่ง [35-36] เพื่อใช้ในการหาค่าความผิดเพี้ยนของสัญญาณทางด้านรับ สัญญาณที่รับได้ในโดเมนความถี่หรือความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณที่รับได้นั้น สามารถวิเคราะห์หาได้จากการนำฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณส่ง $V_t(f)$ คูณกับฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณ $H_c(f)$ สัญญาณที่รับได้ในโดเมนความถี่หรือความหนาแน่นของสเปกตรัมของสัญญาณที่รับได้ $V_r(f)$ สามารถเขียนในรูปสมการได้ดังนี้

$$V_r(f) = V_t(f) \cdot H_c(f) \quad (3.5)$$

และกรณีการส่งผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่างจะเรียกว่าการส่งผ่านแบบไอโซทรอปิก (Isotropic) ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$V_{r\text{-iso}}(f) = V_t(f) \cdot H_r(f) \quad (3.6)$$

สำหรับสัญญาณที่รับได้ในโดเมนเวลานั้น สามารถหาได้โดยใช้การแปลงฟูริเยร์ย้อนกลับ (Inverse Fourier Transform) ของความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณที่รับได้ สัญญาณที่รับได้ในโดเมนเวลาของ $v_r(t)$ และ $v_{r\text{-iso}}(t)$ สามารถเขียนในรูปสมการได้ดังนี้

$$v_r(t) = \int_{-\infty}^{\infty} V_r(f) e^{i2\pi ft} df \quad (3.7)$$

$$v_{r\text{-iso}}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} V_{r\text{-iso}}(f) e^{i2\pi ft} df \quad (3.8)$$

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ โดยกำหนดให้ฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของเครื่องรับเป็นไปตามเงื่อนไขของกำลังสัญญาณรบกวนระหว่างอินพุตและเอาต์พุตคงที่ สำหรับรูปคลื่นต้นแบบที่นำมาใช้พิจารณานั้นมีสองแบบ คือ รูปคลื่นต้นแบบสัญญาณที่รับได้ (Received Signal Template) และรูปคลื่นต้นแบบสัญญาณไอโซทรอปิก (Isotropic Template)

เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ในกรณีที่ใช้รูปคลื่นต้นแบบสัญญาณที่รับได้นั้นจะรวมคุณลักษณะความถี่ของสายอากาศและการแพร่กระจายในอวกาศว่างเข้าไปด้วย โดยมีความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณแม่แบบเป็นสังยุคเชิงซ้อนของ $V_r(f)$ ดังนั้นฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ในกรณีที่ใช้รูปคลื่นต้นแบบสัญญาณที่รับได้ $H_{wm}(f)$ สามารถเขียนได้เป็น

$$H_{wm}(f) = \frac{\sqrt{2f_b} V_r^*(f)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |V_r(f)|^2 df}} \quad (3.9)$$

ส่วนเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ในกรณีใช้รูปคลื่นต้นแบบสัญญาณไอโซทรอปิกนั้นเหมาะสมสำหรับสายอากาศไอโซทรอปิก โดยมีความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณแม่แบบเป็นสังยุคเชิงซ้อนของ $V_{r\text{-iso}}(f)$ ฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ในกรณีที่ใช้สัญญาณแบบไอโซทรอปิกเป็นสัญญาณแม่แบบ $H_{wc}(f)$ สามารถเขียนได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$H_{wc}(f) = \frac{\sqrt{2f_b} V_{r\text{-iso}}^*(f)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |V_{r\text{-iso}}(f)|^2 df}} \quad (3.10)$$

3.2.4 สัญญาณที่รับได้จากเครื่องรับสหสัมพันธ์

ความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณเอาต์พุตของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ในกรณีใช้รูปคลื่นต้นแบบสัญญาณที่รับได้ $V_o(f)$ สามารถคำนวณได้โดยนำความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณที่รับได้ $V_r(f)$ คูณกับฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ในกรณีที่ใช้รูปคลื่นต้นแบบสัญญาณที่รับได้ดังสมการที่ (3.11)

$$V_o(f) = V_r(f) \cdot H_{wm}(f) \quad (3.11)$$

และสามารถหาค่ารูปคลื่นเอาต์พุตของเครื่องรับสหสัมพันธ์ $v_o(t)$ โดยการแปลงฟูริเยร์ย้อนกลับ ดังสมการที่ (3.12)

$$v_o(t) = \int_{-\infty}^{\infty} V_o(f) e^{j2\pi ft} df \quad (3.12)$$

ส่วนความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณเอาต์พุตของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ในกรณีที่ใช้รูปคลื่นต้นแบบสัญญาณไอโซทรอปิก $V_{o\text{-iso}}(f)$ สามารถคำนวณได้โดยนำความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณไอโซทรอปิก $V_{r\text{-iso}}(f)$ คูณกับฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ในกรณีที่ใช้รูปคลื่นต้นแบบสัญญาณไอโซทรอปิก $H_{wc}(f)$ ดังสมการที่ (3.13)

$$V_{o\text{-iso}}(f) = V_{r\text{-iso}}(f) \cdot H_{wc}(f) \quad (3.13)$$

และสามารถหารูปคลื่นในโดเมนเวลาของสัญญาณเอาต์พุตจากเครื่องรับสหสัมพันธ์ในกรณีใช้รูปคลื่นต้นแบบสัญญาณไอโซทรอปิก $v_{o\text{-iso}}(t)$ ได้ดังสมการ (3.14)

$$v_{o\text{-iso}}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} V_{o\text{-iso}}(f) e^{j2\pi ft} df \quad (3.14)$$

3.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

ผลที่ได้จากการวัดจะถูกนำไปประมวลผลผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งประกอบด้วยพารามิเตอร์ต่างๆ ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 ผลตอบสนองความถี่ของสัญญาณ

การวัดช่องสัญญาณโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ที่โครงข่ายแบบเวกเตอร์สิ่งที่จะต้องทำความเข้าใจก็คือระบบและสัญญาณ จะมีปริมาณทางกายภาพที่ถูกป้อนเข้าสู่ระบบเรียกว่า สัญญาณอินพุต (Input Signal) และจะมีปริมาณทางกายภาพบางอย่างออกมาจากระบบซึ่งเรียกว่า สัญญาณเอาต์พุต (Output Signal) หรือผลตอบสนอง (Response) ของระบบ ผลที่ได้จากการวัดจะเป็นค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของสัญญาณซึ่งแปรผันตรงกับฟังก์ชันถ่ายโอนทางความถี่ (Frequency Transfer function) หรือ $H(\omega)$ ของช่องสัญญาณโดยฟังก์ชันถ่ายโอนดังกล่าวนี้จะแสดงให้เห็นถึงผลตอบสนองความถี่ของช่องสัญญาณ ซึ่งประกอบด้วยระดับสัญญาณที่ส่งผ่าน (Magnitude) และผลตอบสนองทางเฟส (Phase) ของสัญญาณ ซึ่งผลตอบสนองดังกล่าวนี้จะเป็นสิ่งที่ใช้แสดงถึงคุณลักษณะของช่องสัญญาณ โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านกับฟังก์ชันถ่ายโอนของช่องสัญญาณนั้นกำหนดตามสมการที่ (3.15)

$$S_{21}(\omega) \propto H(\omega) = \frac{Y(\omega)}{X(\omega)} \quad (3.15)$$

โดย $Y(\omega)$ คือ เอาต์พุตของระบบในโดเมนความถี่
 $X(\omega)$ คือ อินพุตของระบบในโดเมนความถี่

3.3.2 การสูญเสียเชิงวิถี

ในระบบการสื่อสารไร้สายนั้นเป้าหมายหลักของการจำลองการแพร่กระจายคลื่นคือการคาดการณ์ถึงค่าความสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss: PL) เนื่องจากการแพร่กระจายผ่านช่องสัญญาณโดยพิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างระดับกำลังงานที่ใช้ส่งและระดับกำลังงานที่รับได้ซึ่งโดยทั่วไปมักจะแสดงให้อยู่ในหน่วยของเดซิเบล (Decibel) ดังแสดงในสมการที่ (3.16)

$$L_{dB} = 20 \log \left(\frac{v_t(t)}{v_r(t)} \right) \quad (3.16)$$

โดยที่ v_t คือ ระดับสัญญาณที่ใช้ส่ง
 v_r คือ ระดับสัญญาณที่รับได้

โดยในการวิเคราะห์การสูญเสียของกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่ง PL_{UWB} นั้นจะพิจารณาที่ กำลังงานสูงสุดของสัญญาณที่ใช้ส่งและกำลังสูงสุดของสัญญาณที่รับได้ซึ่งเป็นฟังก์ชันของระยะทาง (d) โดยมีนิยามเป็นไปตามสมการที่ (3.17) และ (3.18) ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$PL_{UWB}(d)[dB] = 20 \log \left[\frac{\max |v_t(t)|}{\max |v_r(t,d)|} \right] \quad (3.17)$$

โดยในสมการที่ (3.19) ได้กำหนดให้ขนาดของสัญญาณที่ใช้ส่งมีค่าเท่ากับ 1 โวลต์ ดังนั้นสามารถจัดสมการใหม่ได้ดังนี้

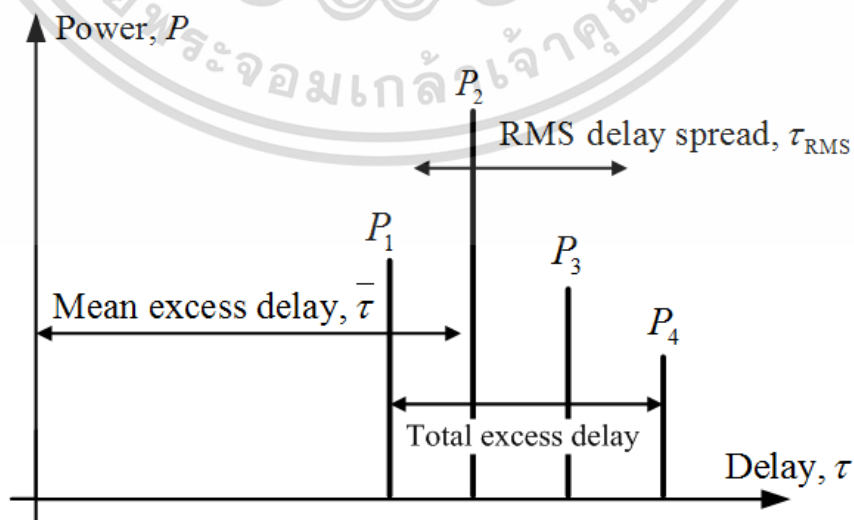
$$PL_{UWB}(d)[dB] = -20 \log \left[\max |v_r(t,d)| \right] \quad (3.18)$$

3.3.3 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน

เป็นการแสดงให้เห็นถึงระดับกำลังงานของสัญญาณที่เข้ามายังภาครับที่เวลาต่าง ๆ อีกทั้งยังแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของสัญญาณที่มีการสะท้อนในหลายทิศทางหรือที่เรียกว่าสัญญาณหลายวิถี โดยจะเรียกว่า ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน (Power Delay Profile: PDP) ตัวอย่างของ PDP ได้แสดงดังรูปที่ 3.4 โดยมีสมการดังต่อไปนี้

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

โดยที่ a_i คือ ระดับของสัญญาณเส้นทางที่ i
 τ_i คือ เวลาประวิงที่เกิดขึ้นของสัญญาณเส้นทางที่ i
 $P(\tau_i)$ คือ กำลังงานของสัญญาณเส้นทางที่ i



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน [42]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่หวังผลตอบแทน ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ค่าความผิดพลาดของรูปสัญญาณที่รับได้นั้นสามารถวิเคราะห์และแสดงให้เห็นโดยการพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าสูงสุดของค่าสหสัมพันธ์ข้าม (Cross correlation) ที่เป็นฟังก์ชันของสัญญาณแบบไอโซทรอปิกและสัญญาณที่รับได้กับค่าสูงสุดของค่าสัมบูรณ์รากที่สองของผลคูณระหว่าง ค่าอัตสหสัมพันธ์ (Autocorrelation) ของสัญญาณไอโซทรอปิกและสัญญาณที่รับได้โดยสมการที่นิยามถึงค่าดังกล่าว แสดงให้เห็นตามสมการที่ (3.20) ถึงสมการที่ (3.21) ตามลำดับ การสหสัมพันธ์ระหว่างรูปคลื่นสัญญาณ 2 สัญญาณสามารถนำมาใช้หาความผิดพลาดของสัญญาณทั้งสองได้ โดยจะรู้ว่าสัญญาณทั้งสองมีความผิดพลาดแตกต่างกันมากน้อยแค่ไหน ซึ่งการประเมินผลความผิดพลาดของสัญญาณถูกนำไปใช้สำหรับทดสอบสายอากาศแถบกว้างยิ่ง [43-44] โดยการสหสัมพันธ์รูปคลื่นส่งและรูปคลื่นที่รับได้

$$C = \frac{\max |r_{ab}(\tau)|}{\max \sqrt{r_a(\tau)r_b(\tau)}} \quad (3.20)$$

โดยสมการที่นิยามค่าสหสัมพันธ์ข้ามคือ

$$r_{ab}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v_{o\text{-iso}}(\tau)v_o(t+\tau)dt \quad (3.21)$$

และสมการที่นิยามค่าสหสัมพันธ์คือ

$$r_a(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v_{o\text{-iso}}(\tau)v_{o\text{-iso}}(t+\tau)dt \quad (3.22)$$

$$r_b(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v_o(\tau)v_o(t+\tau)dt \quad (3.23)$$

โดยที่ $v_{o\text{-iso}}(\tau)$ คือ สัญญาณไอโซทรอปิก

$v_o(\tau)$ คือ สัญญาณที่รับได้

3.3.5 อัตราขยายของสัญญาณในการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่ง [44]

ในวิทยานิพนธ์นี้ อัตราการขยายการส่งผ่านนิยามเป็นแอมพลิจูดสูงสุดของเอาต์พุตเครื่องรับสหสัมพันธ์ที่พิจารณาสายอากาศที่ใช้งานจริงนอร์แมลไลซ์ด้วยคู่สายอากาศไอโซทรอปิกทั้งคู่ จากกรเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอร์แมลไลซ์ของสัญญาณแม่แบบ ค่าของอัตราขยายที่ได้นี้แสดงอัตราขยายของอัตราส่วน SNR ดังนั้นอัตราขยายการส่งผ่านของกรณีต้นแบบสัญญาณที่รับได้ G_{wm} แสดงได้เป็น

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

ในทำนองเดียวกันอัตราขยายการส่งผ่านของกรณีต้นแบบสัญญาณไอโซทรอปิก G_{wc} สามารถเขียนเป็น

$$G_{wc}(t) = 20 \log \left[\frac{\max \left| \int_{-\infty}^{\infty} v_r(t) h_{wc}(t-\tau) dt \right|}{\max \left| \int_{-\infty}^{\infty} v_{r-iso}(t) h_{wc}(t-\tau) dt \right|} \right] \quad (3.25)$$

ความแตกต่างระหว่างอัตราขยายการส่งผ่านของกรณีต้นแบบสัญญาณที่รับได้และกรณีต้นแบบไอโซทรอปิกจะเป็นการระบุปริมาณความผิดเพี้ยนของรูปคลื่น ซึ่งจะเห็นว่าอัตราขยายการส่งผ่านที่เหมาะสมที่สุดของสัญญาณ UWB - IR ไม่สามารถเป็นเพียงการคูณกันระหว่างอัตราขยายของสายอากาศ ดังนั้นจึงแตกต่างจากสูตรการส่งผ่านสัญญาณของฟรีสแบบดั้งเดิม

3.4 อัลกอริทึมแบบคลื่น

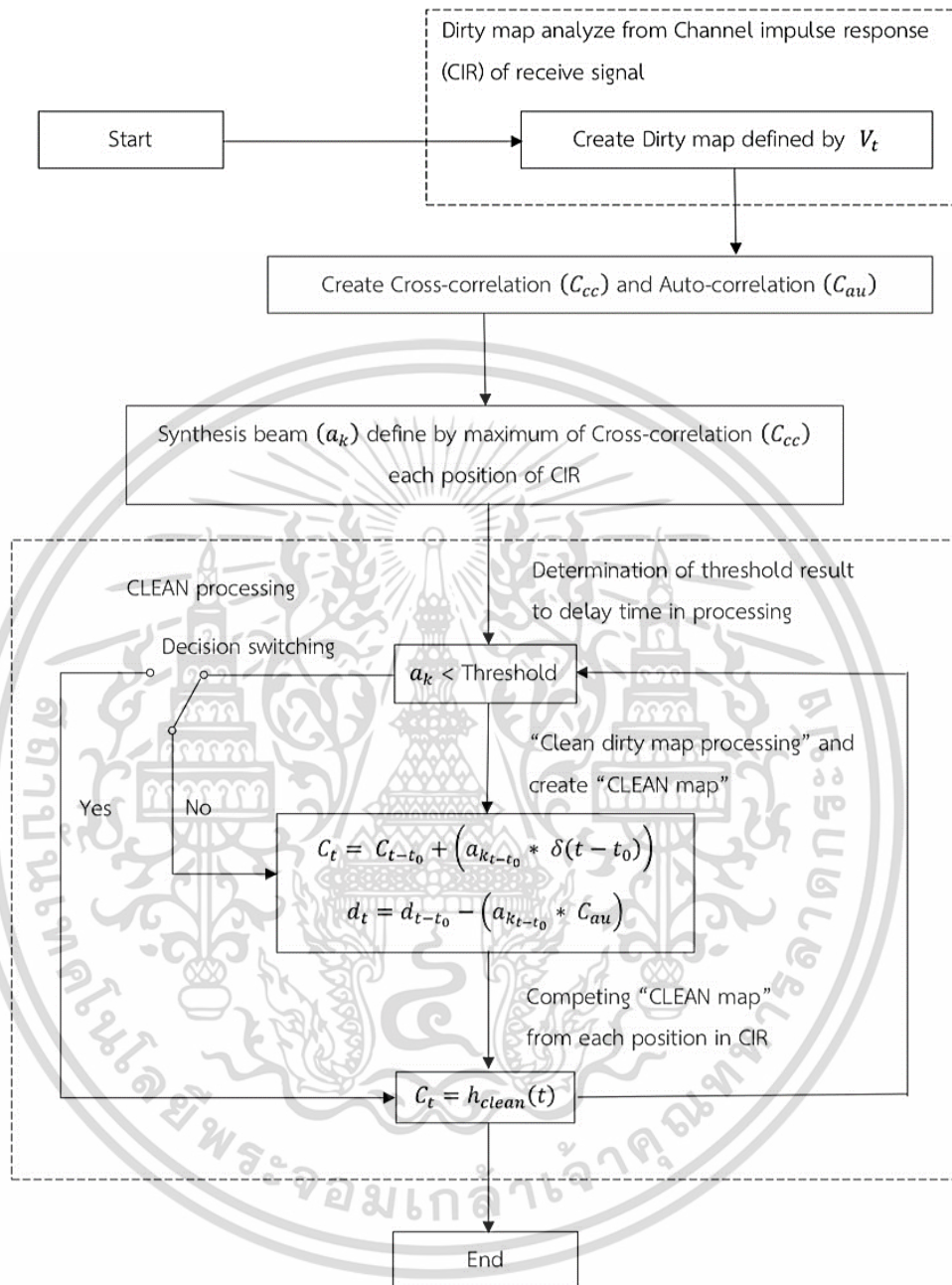
คลื่นอัลกอริทึม ถูกนำมาใช้เพื่อแยกลักษณะทวิคูณของการแพร่กระจายคลื่นวิทยุสำหรับกรณีต่าง ๆ เช่นสถานการณ์ภายในอาคาร แนวคิดทั่วไปคือการค้นหาพัลส์ที่ใหญ่ที่สุดในสัญญาณที่ได้รับ โดยเชื่อมโยงกับสัญญาณแม่แบบที่ระบุไว้ล่วงหน้า สำหรับวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้สัญญาณแม่แบบคือพัลส์อินพุตสายอากาศ จากนั้นพัลส์ที่ใหญ่ที่สุดจะถูกลบออกจากสัญญาณดั้งเดิมซึ่งจะลบผลกระทบออก ดังที่แสดงในรูปที่ 3.5 โดยที่ a_k คือ ค่าสูงสุดของฟังก์ชันสหสัมพันธ์ข้ามระหว่างสัญญาณรับและสัญญาณส่ง และกระบวนการทั้งหมดนี้จะถูกทำซ้ำจนกว่าค่าของ a_k จะต่ำกว่าค่าเกณฑ์ที่กำหนด

3.4.1 การประยุกต์คลื่นอัลกอริทึม

กระบวนการทำงานของคลื่นอัลกอริทึมสำหรับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายสร้าง dirty map จากสัญญาณรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) ทำการหา dirty map ซึ่งในที่นี้คือ สัญญาณรับ (v_r) ในโดเมนเวลา มาจากความแรงของสัญญาณที่ได้รับไปแปลงกลับของการแปลงฟูเรียร์



รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมคลื่นอัลกอริทึม

$$v_r = IFFT\{V_r\} \quad (3.26)$$

2) ทำการหา auto-correlation (C_{au}) ระหว่างสัญญาณส่ง (v_t) ในโดเมนเวลา และทำการหา Cross-correlation (C_{cc}) ระหว่างสัญญาณส่ง (v_t) และสัญญาณรับ (v_r) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_{au}(\tau) = v_t(t) \otimes v_t(t) \quad (3.27)$$

$$C_{cc}(\tau) = v_r(t) \otimes v_r(t) \quad (3.28)$$

3) การสร้างบีมสังเคราะห์ a_k โดยการหาค่าสูงสุดของ C_{cc}

$$a_k = \max|C_{cc}(\tau)| \quad (3.29)$$

3.4.2 การทำงานของคลีนอัลกอริทึม

1) ทำการกำหนดเกณฑ์โดยที่ถ้าค่าของบีมสังเคราะห์มากกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้จะกลับไปทำข้อที่ 3) โดยโศกรงานนี้จะกำหนดให้เกณฑ์ไว้ที่ 10 เปอร์เซ็นต์ของค่าสูงสุดของสหสัมพันธ์ข้ามระหว่างสัญญาณรับและสัญญาณส่ง หรือ 10 เปอร์เซ็นต์ของ a_k

2) ถ้าค่าของบีมสังเคราะห์น้อยกว่าเกณฑ์จะเป็นไปตามสมการ

$$d_t = d_{t-t_0} - (a_{k_{t-t_0}} * C_{au}) \quad (3.30)$$

เมื่อ a_k คือ บีมสังเคราะห์ซึ่งขั้นตอนนี้จะเรียกว่าการ “CLEAN Dirty map”

$$c_t = c_{t-t_0} + (a_{k_{t-t_0}} * \delta(t - t_0)) \quad (3.31)$$

ซึ่งจะได้ c_t โดยเรียกว่า “CLEAN map” หรือ “CLEAN Component”

3.4.3 การสร้างสัญญาณรับที่ผ่านคลีนอัลกอริทึม

1) ทำการแปลงฟูเรียร์ c_t ไปในโดเมนความถี่

$$C = FFT\{c_t\} \quad (3.32)$$

2) การสร้างสัญญาณรับในโดเมนความถี่

$$V_{r(clean)} = V_t * C \quad (3.33)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 สรุป

บทนี้ได้กล่าวถึงแบบจำลองการส่งผ่านสำหรับระบบวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่งซึ่งประกอบไปด้วยหลายส่วนคือ สัญญาณส่งแบบแถบกว้างยิ่งที่ใช้สัญญาณแถบผ่านสี่เหลี่ยม ช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่ง การประยุกต์ใช้สูตรการส่งผ่านสัญญาณของพริส สัญญาณที่รับได้ เครื่องรับในระบบแถบกว้างยิ่ง และสัญญาณที่รับได้จากเครื่องรับสหสัมพันธ์ ผลที่ได้จากการวัดจะนำมาหาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับช่องสัญญาณแถบกว้างบนพื้นฐานสูตรการส่งผ่านของพริส (โดยการประยุกต์สูตรของพริส) และนอกจากนี้ยังได้พิจารณานำเสนอเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ที่มีความเหมาะสมที่สุดที่ให้ค่าอัตราส่วนกำลังสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่าสูงมากที่สุด และเครื่องรับแบบไอโซทรอปิกเพื่อประเมินผลความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นที่ใช้ในการส่งผ่าน ส่วนพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ ฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณ การสูญเสียเชิงวิถี ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ รูปคลื่นที่รับจากเครื่องรับสหสัมพันธ์ และขบวนการแบบคลื่นหรือคลื่นอัลกอริทึม พารามิเตอร์เหล่านี้ได้แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ อันเนื่องมาจากผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ และสามารถประเมินผลประสิทธิภาพการส่งผ่านบนร่างกายมนุษย์แถบกว้างยิ่ง

บทที่ 4

การวัดช่องสัญญาณการส่งผ่านแบบไร้สาย บนร่างกายมนุษย์แถบกว้างยิ่ง

4.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของขั้นตอนในการทดลองวิจัยซึ่งเป็นการตรวจสอบผลการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณในระบบการสื่อสารไร้สาย โดยทั่วไปจะมีการพิจารณาโดยการตรวจสอบจากการวัดโดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ ซึ่งเป็นการตรวจสอบบนโดเมนความถี่ โดยในวิทยานิพนธ์นี้จะทำการวิเคราะห์ถึงผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ที่ส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะของช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งในสถานะแวดล้อมจริง โดยได้ออกแบบจำลองการวัดเป็น 2 แบบ คือ แบบจำลองการวัดที่ตำแหน่งต่างๆ ของร่างกาย และแบบจำลองการวัดที่มุมต่างๆ ของร่างกาย

4.2 ระบบการวัดช่องสัญญาณ

การวัดช่องสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่งจะไม่เหมือนระบบแถบแคบ โดยเฉพาะพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง ในระบบการวัดช่องสัญญาณนี้จะประกอบไปด้วยแบบแผนการวัด แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่ง และพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง ดังนี้

4.2.1 แบบแผนการวัด

ในการทดลองวัดช่องสัญญาณการแพร่กระจายคลื่นวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งเป็นการวัดค่าของฟังก์ชันการส่งผ่านในโดเมนความถี่โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเวกเตอร์ (VNA) ได้กำหนดให้ทำงานในโหมดการวัดผลตอบสนองแบบสองพอร์ต เมื่อพอร์ต 1 เป็นพอร์ตเครื่องส่ง (Tx) และพอร์ต 2 เป็นพอร์ตเครื่องรับ (Rx) สายอากาศที่ใช้ในการทดลองวัดนี้ได้ใช้สายอากาศแบบเส้นคดเคี้ยว (Meander Line) ซึ่งคุณสมบัติของสายอากาศนี้จะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป และมีขั้นตอนการทดลองวิจัยดังรูปที่ 4.1

4.2.2 แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณ

ในการออกแบบวัดผลการทดลองในวิทยานิพนธ์นี้ได้แบ่งแบบจำลองการวัดเป็น 2 แบบ ดังนี้

4.2.2.1 แบบจำลองการวัดที่ตำแหน่งต่างๆ ของร่างกาย

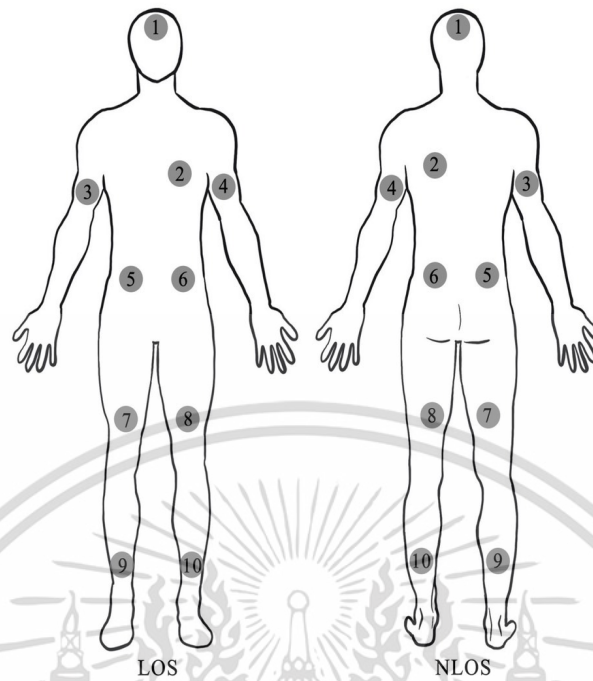
แบบจำลองการวัดนี้เป็นการทดลองวัดการแพร่กระจายคลื่นบนร่างกายมนุษย์ในตำแหน่งต่างๆ บนร่างกายมนุษย์โดยที่สายอากาศด้านส่งยึดติดอยู่กับที่บริเวณกึ่งกลางหน้าอก ส่วนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศรับจะติดตั้งในตำแหน่งต่างๆ ของร่างกายอีกคนหนึ่ง รวมทั้งหมด 26 ตำแหน่ง แสดงดังรูปที่ 4.2 ซึ่งระยะห่างระหว่างตำแหน่งในส่วนแขนและลำตัวจะวางห่างกัน 10 เซนติเมตร ส่วนบริเวณขาจะวางห่างกัน 20 เซนติเมตร โดยที่ระยะระหว่างสายอากาศส่งและรับอยู่ห่างกัน 1-2 เมตร ส่วนการติดตั้งการวัดของแบบจำลองนี้แสดงดังรูปที่ 4.3

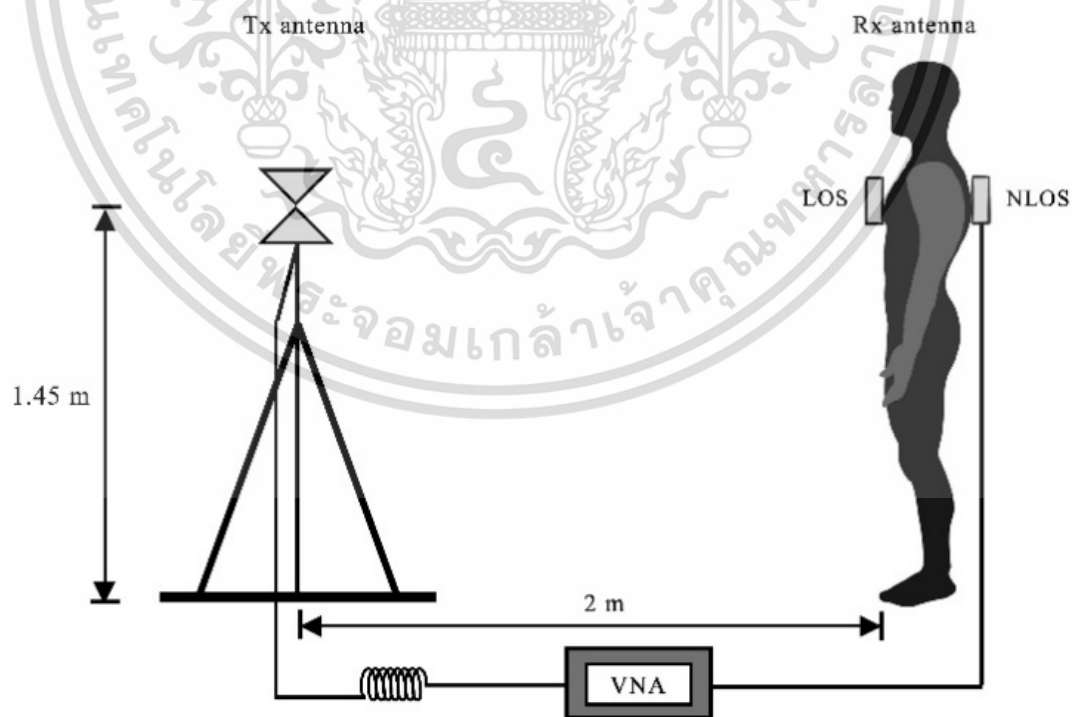


รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการทดลองวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 การออกแบบจำลองการวัดที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนร่างกาย



รูปที่ 4.3 การติดตั้งการวัดช่องสัญญาณของแบบจำลองการวัดที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของร่างกาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัด

ค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลองการวัดช่องสัญญาณ แสดงให้เห็นในตารางที่ 4.1 โดยมีช่วงความถี่เป็น 3 GHz – 11 GHz เพื่อให้ครอบคลุมช่วงความถี่ของสัญญาณแถบกว้างยิ่ง จำนวนจุดความถี่ที่ใช้ในแบบจำลองการทดลองวัดนี้เป็น 801 จุดเนื่องจากเป็นความละเอียดสูงสุดของเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ที่สามารถกำหนดได้ ลักษณะการวางสายอากาศในแนวตั้ง เนื่องจากสายอากาศที่ใช้ทั้งภาครับและภาคส่งให้แบบรูปของการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบรอบทิศทางในแนวระนาบเดียว

ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์สำคัญที่ใช้ในการทดลองวัด

พารามิเตอร์	ค่า
ช่วงความถี่	3.0 - 11.0 กิกะเฮิร์ต
จำนวนจุดของความถี่	801 จุด
ความสูงของสายอากาศด้านส่ง	1.25 เมตร
ความสูงของสายอากาศด้านรับ	0.3 - 1.25 เมตร
ชนิดของสายอากาศด้านส่ง	สายอากาศกรวยคู่ และสายอากาศแบบ
ชนิดของสายอากาศด้านรับ	เส้นตัวนำคดเคี้ยว
การวางแนวของสายอากาศ	แนวตั้ง
ความสูงของตัวคน	168 และ 170 เซนติเมตร
น้ำหนักของตัวคน	51 และ 53 กิโลกรัม

4.3 เครื่องมือหลักที่ใช้ในการทดลอง

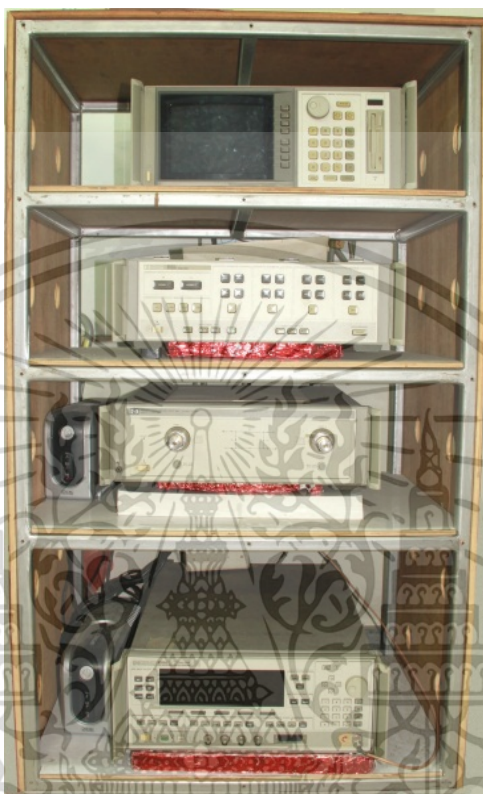
เครื่องมือที่สำคัญสำหรับการทดลองวิจัย ได้แก่ เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ และสายอากาศที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.3.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์

ในระบบการวัดช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนั้นจะใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ ดังรูปที่ 4.4 ซึ่งประกอบไปด้วย จอแสดงผล (Monitor) ชุดทดสอบพารามิเตอร์การระจัดกระจาย (S-Parameter Test Set) เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ (Network Analyzer) และเครื่องสังเคราะห์ความถี่ (Frequency Synthesized Sweeper) ตามลำดับจากบนลงล่าง เป็นอุปกรณ์หลักในการทดลอง ซึ่งจะถูกรวมผ่านคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC) ที่เชื่อมต่อผ่านช่องสื่อสารแบบ GPIB (General Purpose Interface Bus) โดยอุปกรณ์ชนิดนี้จะมีคุณสมบัติที่สามารถตรวจวัดสัญญาณในโครงข่ายหนึ่งพอร์ตและสองพอร์ต ซึ่งในการทดลองนี้จะทำการตรวจวัดแบบสองพอร์ตโดยพอร์ตที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนึ่งคือพอร์ตที่ใช้ในการส่งสัญญาณ (Tx) ส่วนพอร์ตสองจะใช้ในการรับสัญญาณ (Rx) โดยที่ปลายของพอร์ตทั้งสองจะถูกต่อด้วยสายอากาศ และทำการวัดในโดเมนความถี่ก่อนที่จะถูกนำผลการวัดไปวิเคราะห์ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่อไป

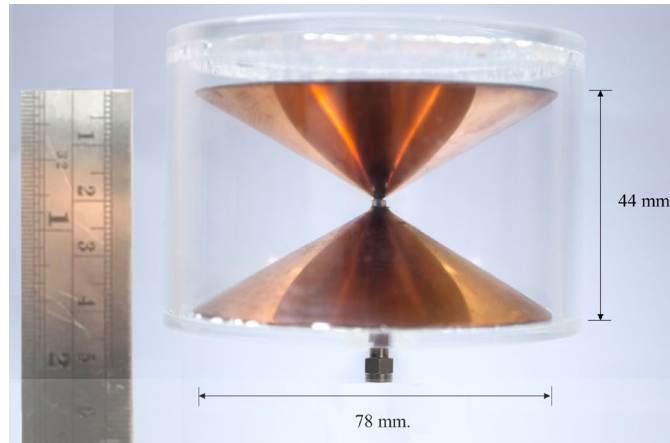


รูปที่ 4.4 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์

4.3.2 สายอากาศที่ใช้ในการทดลอง

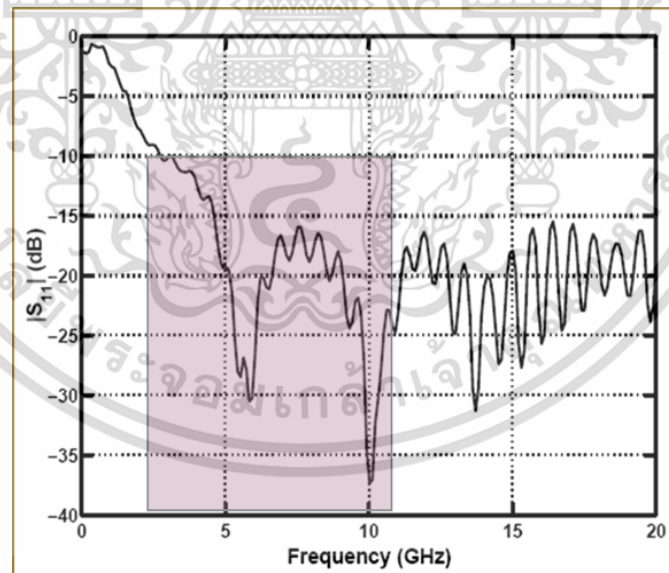
ในการตรวจวัดช่องสัญญาณแบบไร้สายนั้นจำเป็นต้องมีอุปกรณ์สำคัญอีกอย่างหนึ่งซึ่งเรียกว่าสายอากาศ (Antenna) ซึ่งช่วยในการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าจากเครื่องส่งให้เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแพร่กระจายผ่านอากาศไปยังสายอากาศทางด้านรับแล้วเปลี่ยนกลับมาเป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยในวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้สายอากาศกรวยคู่ (Biconical Antenna) ด้านส่ง สายอากาศแบบกรวยคู่มีคุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทางในมุมกวาด (Azimuth) ซึ่งสายอากาศแบบกรวยคู่ที่ใช้ในการทดลองวัดนี้มีอัตราขยาย (Gain) อยู่ระหว่าง 1.5 dBi ถึง 15.0 dBi มีช่วงความถี่การแผ่กระจายครอบคลุมช่วงความถี่ที่ใช้ทดลองวัด คือช่วงความถี่แถบกว้างยิ่ง ซึ่งลักษณะของเฟสมีความเป็นเชิงบวมมาก มีสนามระยะไกล (Farfield) ที่ระยะ 0.2578 เมตร โครงสร้างของสายอากาศจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ฐานของกรวย คือ 65.34 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างฐานกรวยทั้งสอง คือ 37 มิลลิเมตร ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 สายอากาศแบบกรวยคู่ที่ใช้ในการทดลองวัด [20]

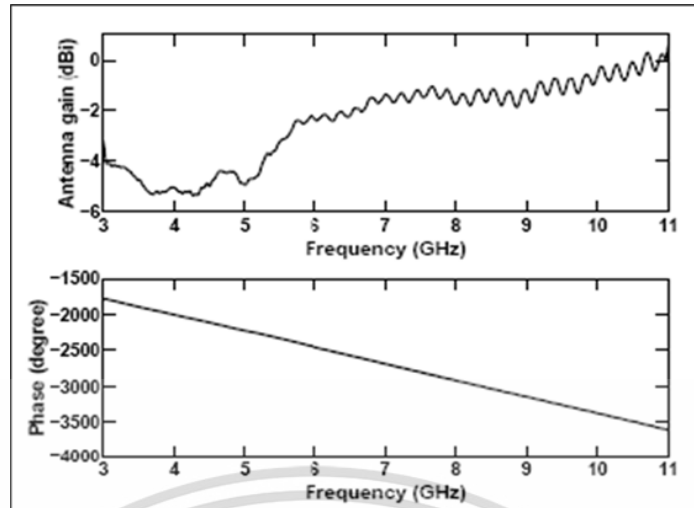
ในการทดลองวัดนี้ได้ใช้สัญญาณแถบกว้างยิ่งซึ่งมีช่วงความถี่ตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ซึ่งสายอากาศแบบกรวยคู่ที่ใช้ในการทดลองวัดนี้จะมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (Reflection coefficient) $|S_{11}|$ ในช่วงความถี่ของสัญญาณแถบกว้างยิ่งต่ำกว่า -10 dB ซึ่งจะแสดงดังรูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าสายอากาศแบบกรวยคู่นี้สามารถนำมาใช้ในย่านความถี่ของสัญญาณแถบกว้างยิ่งได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 4.6 สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศแบบกรวยคู่ที่ใช้ในการทดลองวัด [20]

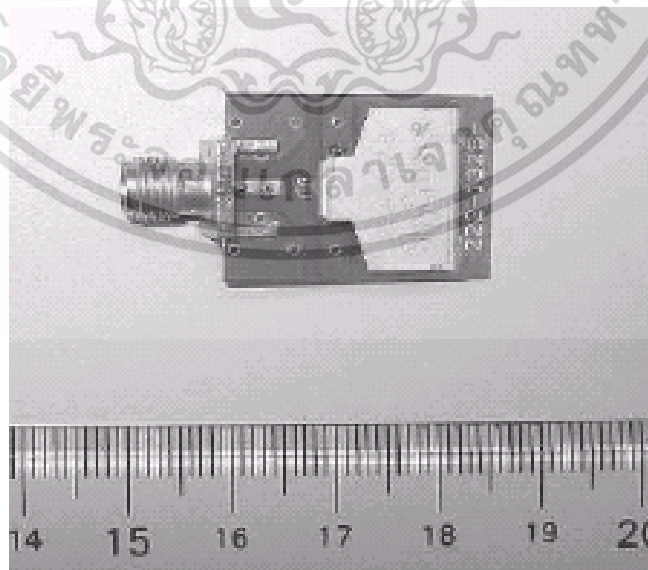
ในการพิจารณาสายอากาศที่ใช้ในการทดลองวัด คุณสมบัติอีกอย่างที่สำคัญ คือขนาด และเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านของสายอากาศ ซึ่งขนาด และเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านของสายอากาศแบบกรวยคู่ที่ใช้ในการทดลองวัดนี้จะแสดงดังรูปที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



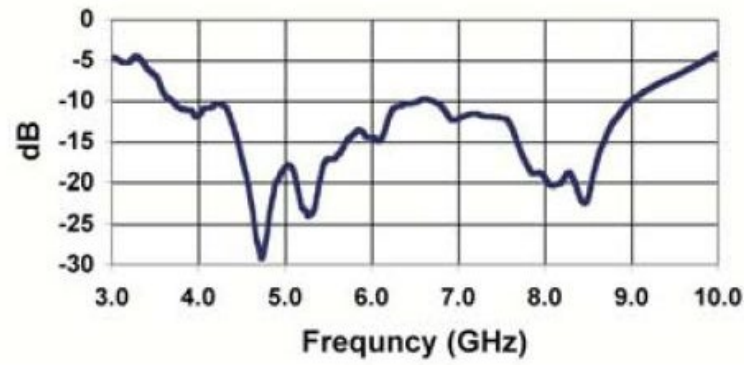
รูปที่ 4.7 ขนาดและเฟสของฟังก์ชันการของสายอากาศแบบกรวยคู่ที่ใช้ในการทดลองวัด [20]

และสายอากาศแบบเส้นคดเคี้ยว (Meander Line Antenna: MLA) ด้านรับ เป็นสายอากาศเชิงพาณิชย์ที่ออกแบบโดยบริษัทสกายคอร์ส [47] ประเทศสหรัฐอเมริกา คุณสมบัติของสายอากาศเป็นสายอากาศที่ตอบสนองความถี่ได้กว้างสามารถรองรับการใช้งานในย่านความถี่ตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ตามข้อกำหนดย่านความถี่การใช้งานของระบบแถบกว้างยิ่งยงของ FCC มีขนาดของสายอากาศเล็ก เฟสมีความเป็นเชิงเส้นตลอดช่วงความถี่ มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นรอบตัวตามแนวตั้งของสายอากาศ โดยรูปที่ 4.8 4.9 และ 4.10 แสดงให้เห็นถึงลักษณะโครงสร้างของสายอากาศ สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ และอัตราขยายของสายอากาศที่มุมต่าง ๆ ตามลำดับ



รูปที่ 4.8 โครงสร้างของสายอากาศแบบเส้นตัวนำคดเคี้ยว [43]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ $|S_{11}|$ คุณสมบัติของสายอากาศแบบเส้นคดเคี้ยว [47]



รูปที่ 4.10 อัตราขยายของสายอากาศแบบเส้นคดเคี้ยวที่ความถี่ 5.25 กิกะเฮิรตซ์ [47]

4.4 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงแบบจำลองการวัดช่องสัญญาณและการทดลองวัดช่องสัญญาณในระบบ แลกกว้างยิ่งโดยใช้สายอากาศที่ตอบสนองช่วงความถี่แลกเปลี่ยนกว้างประกอบกับการใช้เครื่องวิเคราะห์ โครงข่ายแบบเวกเตอร์เป็นอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการวัดบนโดเมนความถี่เพื่อตรวจสอบถึงผลกระทบต่าง ๆ ที่มีต่อช่องสัญญาณการส่งผ่านแบบแลกเปลี่ยนยิ่ง ซึ่งแบบจำลองการวัดช่องสัญญาณมีด้วยกัน 2 แบบ ได้แก่ แบบจำลองการวัดที่ตำแหน่งต่างๆ ของร่างกายมนุษย์ และแบบจำลองการวัดที่ตำแหน่ง ต่าง ๆ บนร่างกายมนุษย์ โดยข้อมูลการวัดที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์และแสดงผลด้วยพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังจะแสดงในบทต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลองวิจัยและการอภิปรายผล

5.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการวัดแบบจำลองช่องสัญญาณการแพร่กระจายคลื่นจากแบบจำลองการวิจัยทั้ง 2 แบบที่กล่าวถึงในบทที่ 4 ข้อมูลที่ได้จากผลการทดลองวัดจะนำไปวิเคราะห์คุณลักษณะของช่องสัญญาณหรือผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อช่องสัญญาณจากการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งประกอบด้วยขนาด เฟส และเวลาประวิงกลุ่มของฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณ การสูญเสียเชิงวิถี ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ รูปคลื่นสัญญาณที่ได้รับได้จากเครื่องรับสหสัมพันธ์ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ อัตราการขยายการส่งผ่านของสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง และอัตราความผิดพลาดบิต โดยแบบจำลองที่ 1 จะเปรียบเทียบกับในแต่ละตำแหน่งบนร่างกาย ส่วนในแบบจำลองที่ 2 จะเปรียบเทียบกับระหว่างกรณีที่มีผลและไม่มีผลจากร่างกายมนุษย์

5.2 ผลการทดลองของแบบจำลองการวัดที่ตำแหน่งต่าง ๆ

การทดลองวัดแบบจำลองนี้กำหนดให้สายอากาศทางด้านส่งยึดติดอยู่กับที่ในบริเวณหน้าอกของมนุษย์ ส่วนสายอากาศทางด้านรับเปลี่ยนไปตามตำแหน่งต่างๆ ของร่างกายตามแบบจำลอง รวมทั้งหมด 10 ตำแหน่ง ซึ่งสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และแสดงผลได้ดังต่อไปนี้

5.2.1 การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณการส่งผ่านแถบกว้างยิ่ง

จากรูปที่ 5.1 แสดงการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณที่ตำแหน่งต่างๆ ของร่างกาย ซึ่งตำแหน่งที่มีการสูญเสียเชิงวิถีมากที่สุดจะอยู่ที่ข้อเท้าคือเท่ากับ 67.63 dB และน้อยที่สุดอยู่ที่ หัวไหล่ด้านขวา คือ 54.15 dB

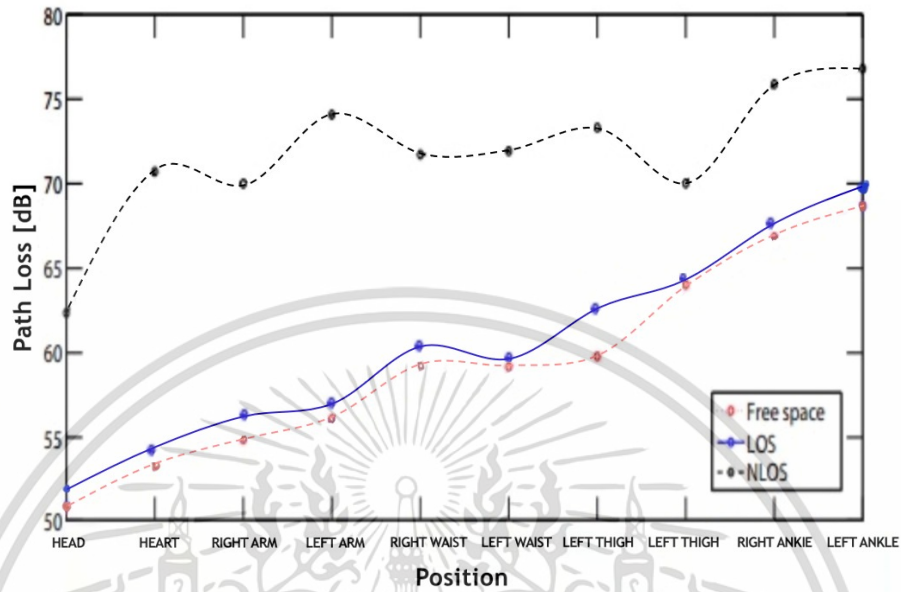
5.2.2 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

ในการแสดงผลภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณนั้นจะแสดงในรูปแบบของกราฟ 3 แกนคือ เวลาที่ใช้ในการเดินทาง ระยะห่างของสายอากาศรับส่ง และระดับกำลังงานของสัญญาณที่ได้รับได้ โดยในที่นี้จะแสดงเปรียบเทียบกันที่ตำแหน่งต่างๆ ในแนวเดียวกัน ในกรณีอวกาศว่าง กรณีในระดับสายตาที่มองเห็น และในกรณีระดับสายตาที่มองไม่เห็น ดังรูปที่ 5.2 ถึงรูปที่ 5.4

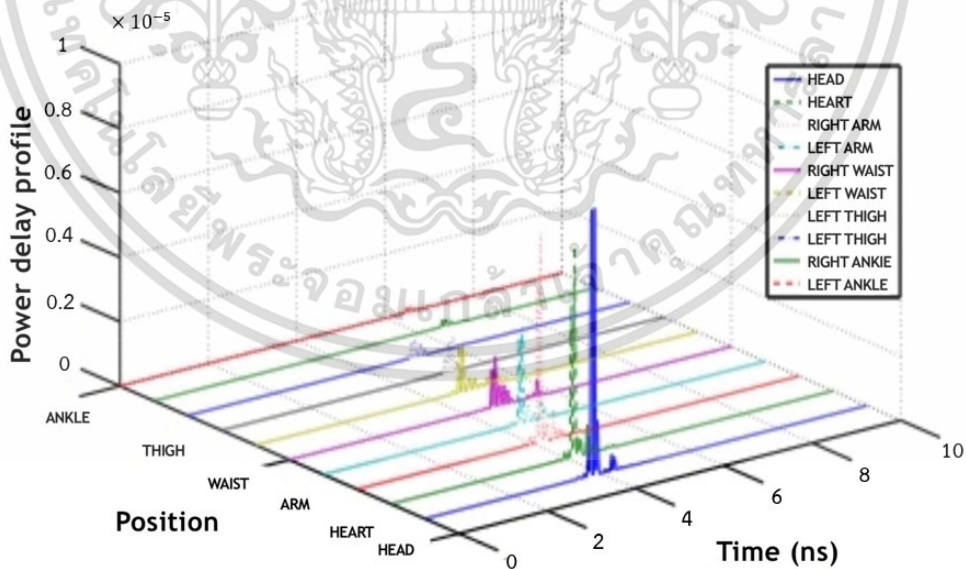
เมื่อพิจารณารูปที่ 5.2 และ 5.4 ซึ่งเป็นภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานที่แขนขวาและแขนซ้าย ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าที่แขนขวาตำแหน่งหัวไหล่มีระดับกำลังงานสูงสุดอยู่ที่ 3.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รองลงมาคือตำแหน่งข้อมือ และที่แขนซ้ายตำแหน่งข้อมือจะมีระดับกำลังงานที่รับได้สูงที่สุดอยู่ที่ 2.68 และต่ำสุดที่หัวไหล่อยู่ที่ 0.41 โดยมีช่วงการประวิงเวลาอยู่ที่ 3.15-3.67 ns

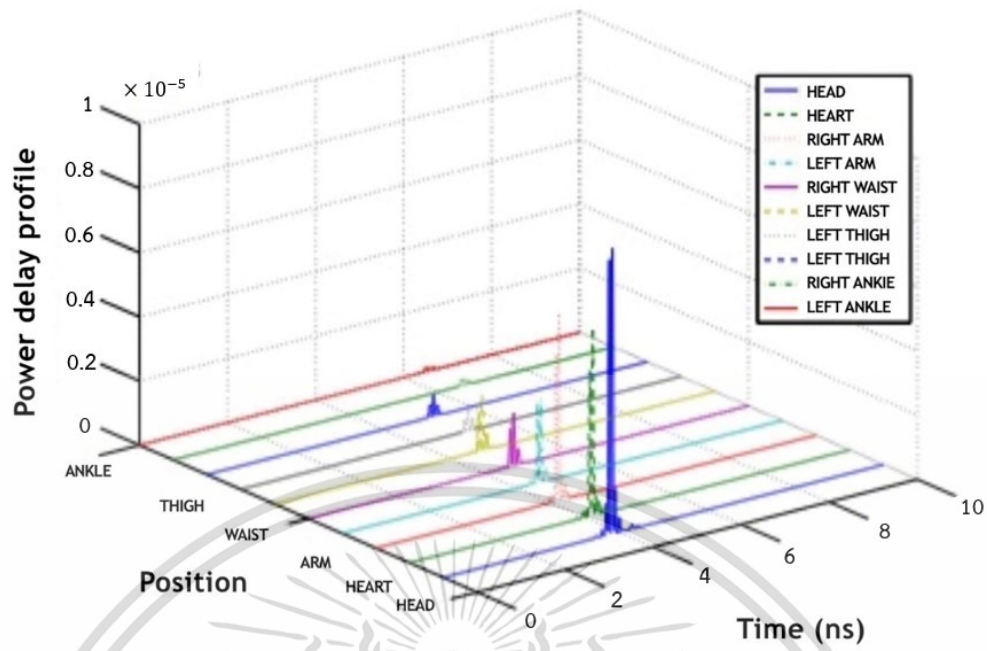


รูปที่ 5.1 การสูญเสียเชิงวิถีของแบบจำลองการวัดที่ตำแหน่งต่าง ๆ

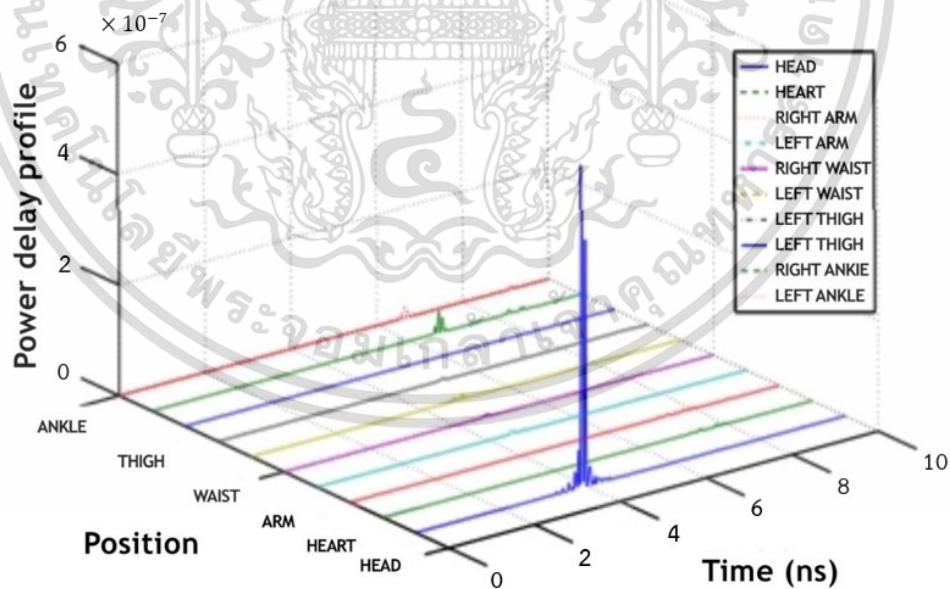


รูปที่ 5.2 คุณลักษณะการภาพตัดขวางประวิงกำลังส่งผ่านช่องสัญญาณบนร่างกายมนุษย์แถบกว้างยิ่งกรณีนอวกาศว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 คุณลักษณะการภาพตัดขวางประวิงกำลังส่งผ่านช่องสัญญาณบนร่างกายมนุษย์แถบกว้างยิ่ง
กรณีในอวกาศว่าง



รูปที่ 5.4 คุณลักษณะการภาพตัดขวางประวิงกำลังส่งผ่านช่องสัญญาณบนร่างกายมนุษย์แถบกว้างยิ่ง
กรณีในอวกาศว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 สรุป

ในบทนี้ได้แสดงผลการวัดและการวิเคราะห์ผลของสัญญาณโดยการวัดสัญญาณนั้นได้ทำการทดลองในสภาพการใช้งานจริง ซึ่งได้ใช้แบบจำลองในการวัด 3 แบบตามที่ได้แสดงไว้ในบทที่ 4 นำผลที่ได้จากการวัดมาทำการวิเคราะห์บนพื้นฐานสูตรการส่งผ่านของฟรีส และทางด้านรับได้ใช้เครื่องรับสหสัมพันธ์สองแบบมาเปรียบเทียบกับระหว่างเครื่องรับแบบสัญญาณที่รับได้กับเครื่องรับแบบไอโซทรอปิก เพื่อประเมินผลความผิดเพี้ยนที่เกิดขึ้น พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผล ได้แก่การสูญเสียเชิงวิถี ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน รูปคลื่นสัญญาณที่รับได้แล้วผ่านขบวนการคลื่น จากนั้นนำมาผ่านเครื่องรับสหสัมพันธ์ จากผลการทดลองวิจัยทราบว่าร่างกายมนุษย์มีผลต่อการส่งผ่านของรูปคลื่นแบบแถบกว้างยิ่ง เป็นผลให้เกิดความผิดเพี้ยนของรูปคลื่น และส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการส่งผ่าน การบดบังจากร่างกายจะเกิดความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นอย่างมาก รวมทั้งตำแหน่งที่ต่างกันของร่างกายมนุษย์จะมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกัน ทำให้ประสิทธิภาพการส่งผ่านสัญญาณที่แต่ละตำแหน่งแตกต่างกันและตามโครงสร้างของร่างกายมนุษย์ด้วย

บทที่ 6

สรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 กล่าวนำ

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอแบบแผนการประเมินผลทดลองเกี่ยวกับการสูญเสียเชิงวิถึบนร่างกายมนุษย์แถบกว้างยิ่งที่มีผลกระทบจากการบดบัง สำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ โดยได้พิจารณาคุณลักษณะของช่องสัญญาณการส่งผ่านแถบกว้างยิ่งในกรณีในอวกาศว่างคือไม่มีร่างกายมนุษย์บดบังและกรณีที่มีร่างกายมนุษย์บดบัง โดยการทดสอบบนพื้นฐานการวัดจริงด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์เป็นอุปกรณ์หลักในการวัดและบันทึกผล สำหรับการจำลองและวัดจริงในห้องไร้การสะท้อนคลื่นและใช้สายอากาศสองชนิดในประเมินผลการทดลองวัดคือ สายอากาศแบบกรวยคู่ทางด้านส่ง และทางด้านรับเป็นสายอากาศเส้นตัวนำกลางคดเคี้ยวซึ่งเป็นสายอากาศที่ตอบสนองแถบความถี่กว้างและมีขนาดเล็ก นำผลที่ได้จากการวัดมาประเมินผลเปรียบเทียบโดยการประยุกต์ใช้สูตรส่งผ่านของฟรีสมีหลายพารามิเตอร์ เช่น การสูญเสียเชิงวิถึ ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน อัตราการขยายส่งผ่าน ของฟังก์ชันการส่งผ่านของช่องสัญญาณ โดยทางด้านรับได้เสนอเครื่องรับสหสัมพันธ์ คือเครื่องรับสหสัมพันธ์สัญญาณที่รับได้และเครื่องรับสหสัมพันธ์ไอโซทรอปิก โดยแสดงผลการเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่และที่มีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งต่าง ๆ บนร่างกายที่กำหนด เปรียบเทียบในกรณีที่มีการบดบังร่างกายมนุษย์ และไม่มีการบดบังร่างกายมนุษย์

6.2 สรุปผลของการศึกษาทดลองวิจัย

6.2.1 การวิเคราะห์ช่องสัญญาณการส่งผ่านกรณีไม่มีบดบังจากร่างกายมนุษย์

คุณสมบัติของช่องสัญญาณส่งผ่านแถบกว้างยิ่งในแบบจำลองการวัดภายในห้องไร้การสะท้อนคลื่นได้ใช้สายอากาศแถบกว้างสองชนิดด้วยกันดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 ส่วนการวิเคราะห์และประเมินผลข้อมูลจากการวัดในส่วนต่าง ๆ โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อแสดงถึงผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นและมีผลกระทบต่อช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งในกรณีที่ไม่มีการบดบังจากร่างกายมนุษย์ตามตำแหน่งที่กำหนด ผลที่ได้จากการวิเคราะห์เห็นได้ว่า ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน และการสูญเสียเชิงวิถึที่มีความแตกต่างกันของแต่ละตำแหน่งดังที่ได้แสดงไว้ในบทที่ 5

6.2.2 การวิเคราะห์ช่องสัญญาณส่งผ่านในกรณีมีการบดบังจากร่างกายมนุษย์

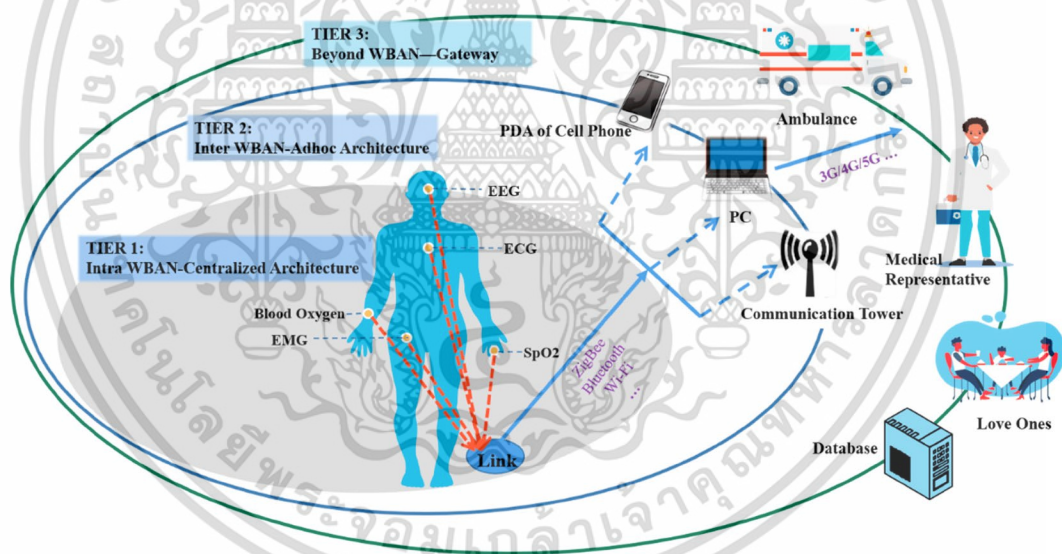
ผลกระทบการบดบังจากร่างกายมนุษย์ในมุมต่าง ๆ พบว่าร่างกายมนุษย์ก็เป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อช่องสัญญาณ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเกิดการบดบังจากร่างกายมนุษย์อย่างสมบูรณ์หรือที่มุม 180 องศา จากการวัดจะเกิดผลการเปลี่ยนแปลงที่รุนแรงต่อช่องสัญญาณ ซึ่งส่งผลกระทบต่อขนาด และเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอน ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานและอัตราขยายในการ

ส่งผ่านแถบกว้างยิ่ง ส่งผลให้คุณภาพของสัญญาณที่รับได้ลดลงอีกทั้งยังทำให้เกิดความเพี้ยนของสัญญาณรูปคลื่นอีกด้วย

6.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการวิจัยในอนาคต

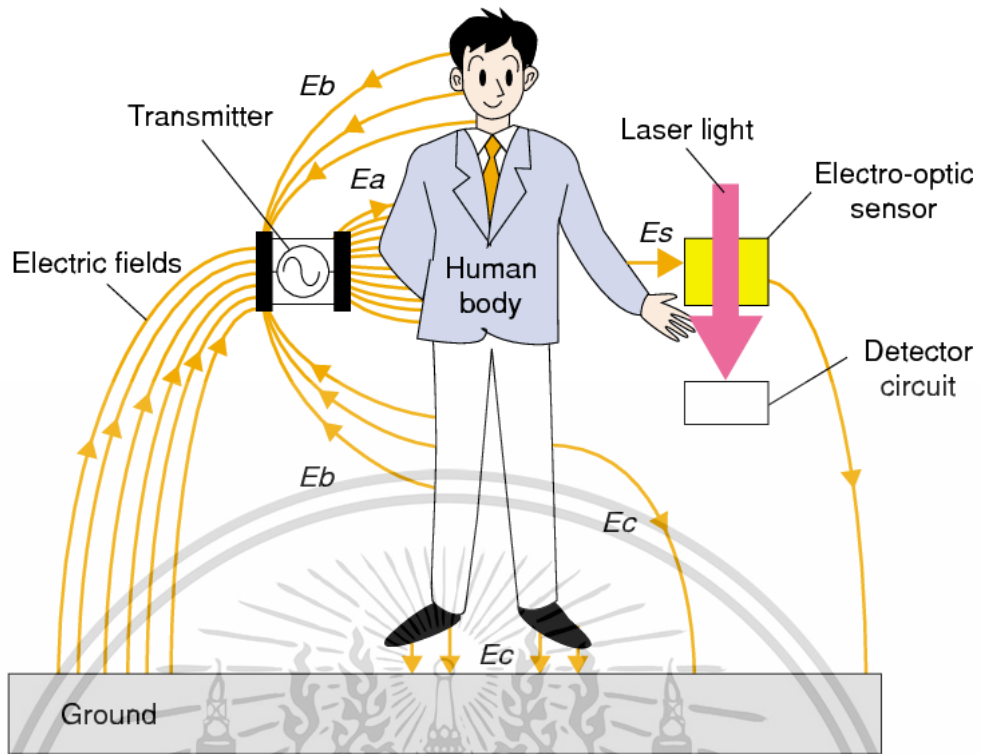
จากการศึกษาถึงคุณลักษณะของช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งในกรณีที่มีผลจากร่างกายมนุษย์ โดย การประยุกต์ใช้สูตรของฟรีสสำหรับแถบกว้างยิ่งในการพิจารณา ส่วนทางด้านเครื่องรับใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ในการวิเคราะห์ โดยใช้คลื่นสัญญาณที่ส่งเป็นแบบแถบกว้างยิ่ง ตามข้อกำหนดของ FCC และได้ทำการทดลองวิจัยในห้องปฏิบัติการสะท้อนแล้ว การทดลองวิจัยในอนาคตจะพิจารณาว่าจริงในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร และโครงข่ายภายในบ้านพักอาศัย ตลอดจนวิธีการวิเคราะห์แบบใหม่ที่มีความเหมาะสมที่สุดทั้งในย่านความถี่แถบกว้าง และความถี่แถบแคบ

ในการประยุกต์เอางานวิจัยไปพัฒนาในแนวทางอื่น ๆ ได้ด้วยเช่น ระบบแถบกว้างยิ่งสำหรับการประยุกต์ใช้ระบบสื่อสารไร้สายในทางการแพทย์ ด้วยระบบแถบกว้างยิ่งสำหรับการประยุกต์ใช้ในการหาตำแหน่ง และการเชื่อมโยงโครงข่ายมัลติมีเดียไร้สายระยะไกล เป็นต้น

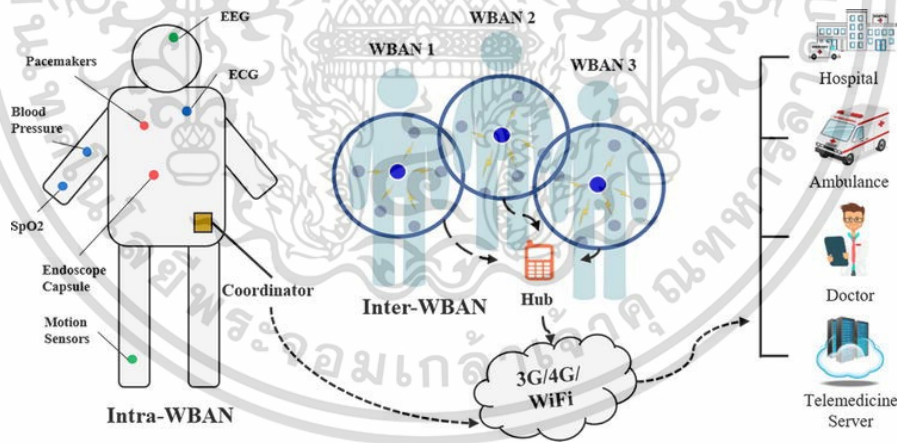


รูปที่ 6.1 ระบบแถบกว้างยิ่งสำหรับการประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ไร้สาย [21]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

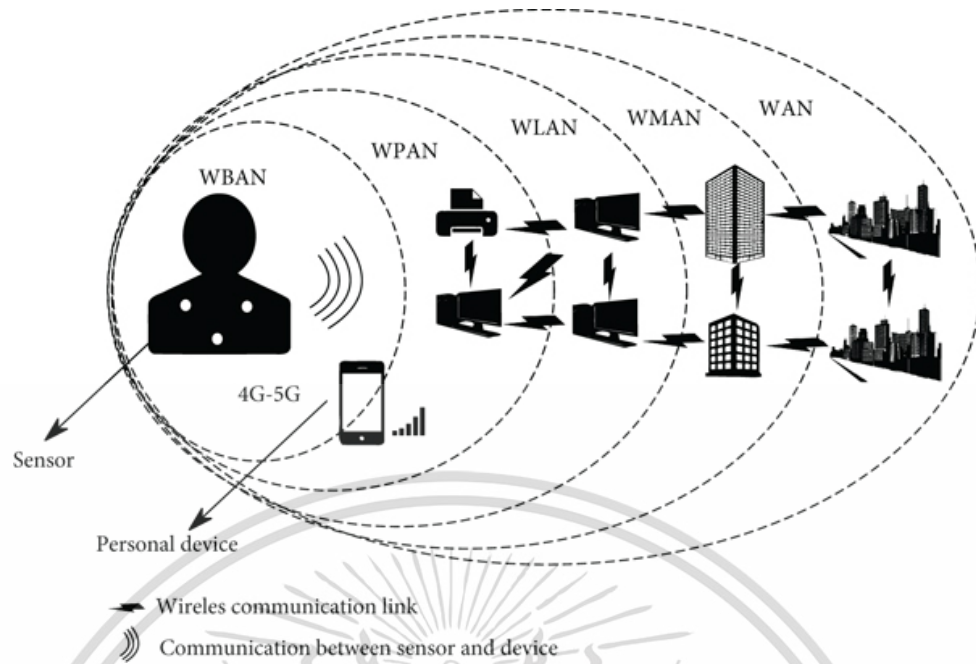


รูปที่ 6.2 การสแกนด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงสำหรับการตรวจค้น [20]



รูปที่ 6.3 การพัฒนาเทคโนโลยีโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์สำหรับการแพทย์ [21]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.4 การเชื่อมโยงโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ระยะสั้นสำหรับ 4G และ 5G [19]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] H.T. Friis, "A Note on A Simple Transmission Formula," Proceedings of IRE, vol. 34, no. 5, pp. 254–256, May. 1946.
- [2] A. W. ASTRIN, H.-B. LI, and R. KOHNO, "standardization for body area networks," IEICE Transactions on Communications, vol. E92.B, no. 2, pp. 366-372, Feb. 2009.
- [3] R. C. Qiu, "Propagation effects," in UWB Communications Systems: A Comprehensive Overview, M. G. Di Benedetto, Ed. Lausanne, Switzerland: EURASIP, 2005.
- [4] N. Kumar and R. M. Buehrer, "Application of layered space-time processing to ultra-wideband communication," in Proceedings of 45th Midwest Symposium on Circuits and Systems, pp. 597-600, Aug. 2002.
- [5] M. Ghavami, L. B. Michael and R. Kohno, Ultra wideband signals and systems in communication engineering, John Wiley & Sons, 2004.
- [6] F. Ramirez-Mireles and R. A. Scholtz. "Wireless multiple-access using SS timehopping and block waveform pulse position modulation, part 2: Multiple-access performance," in Proceedings ISITA Symposium, 1998.
- [7] D. G. Leeper. "Wireless data blaster". Scientific American, pp. 1-3, May. 2002.
- [8] H. Kikuchi. "UWB arrives in Japan," Nikkei Electronics, pages 95-122, Feb. 2003.
- [9] Z.N. Chen, X.H. Wu, N. Yang and M.Y.W. Chia, "Consideration for source pulse and antennas in UWB radio systems," IEEE Trans. Antennas Propagation., 52(7), pp. 1739-1748, 2004.
- [10] R.Q. Lee and R.N. Simons, Tapered slot antennas, Chapter 9 of Advances in Microstrip and printed Antennas, Edited by K.F. Lee and W. Chen, New York., 1997.
- [11] F. Nekoogar, "Ultra-Wideband Communications: Fundamentals and Applications," United States of America: Prentice-Hall PTR, Aug. 2005.
- [12] R. Kohno, M. McLaughlin and M. Wellborn, "DS-UWB Physical Layer Submission to 802.15 Task Group 3a," IEEE Document number 802.15-04-0137r4.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [13] Federal Communications Commission, “Revision of Part 15 of the Commission’s Rules Regarding Ultra-Wideband Transmission Systems,” First Report and Order, FCC 02-48, Apr. 2002.
- [14] S. Kazimierz, and M. Debra, “Ultra-Wideband Radio Technology,” England: John Wiley & Sons Ltd. 2004.
- [15] M. Di Benedetto and G. Giancola, “Understanding Ultra Wideband Radio Fundamentals,” New Jersey: Prentice Hall, 2004.
- [16] Z. Sahinoglu, S. Gezici and I. Guvenc, “Ultra-wideband Positioning Systems,” New York : Cambridge University, Inc. 2008.
- [17] H. Nekoogar and R. Prasad, “Introduction to Ultra Wideband for Wireless Communications,” Springer Science, 2009.
- [18] 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.
- [19] L. D. Nardis and M. D. Benedetto, “Overview of the IEEE 802.15.4/4a standards for low data rate wireless personal data networks,” 4th Workshop on Positioning, Navigation and Communication (WPNC), pp. 285-289, 2007.
- [20] K. S. Kwak, S. Ullah and N. Ullah, “An overview of IEEE 802.15.6 standard,” 2010 3rd International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies (ISABEL), pp. 1-6, 2010.
- [21] K. Hur, W. S. Sohn, J. K. Kim and Y. Lee, “A Power-Efficient Mechanism of IEEE 802.15.6 WBAN for Wireless USB Support,”. International Journal of Software Engineering and Its Applications Vol. 7, No. 3, May. 2013.
- [22] A. Mehaoua, “Wireless Body Area Networks for HealthCare,” SIEPCPC 2013 Workshop on Pervasive HealthCare, Apr. 27, 2013.
- [23] E. Schylander, “15WNG Guidelines for New Work Items,” IEEE 802.15-06-0002-01, Jan. 2006.
- [24] Project Authorization Request (PAR) for P802.15.6, 15-07-0575-09-0ban-ban-draft-par-doc.rtf.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [25] H.-B. Li, J. Schwoerer, Y.-M. Yoon, J. Farserotu, W.-B. Yang, K. Sayrafian, D. Miniutti, D. Lewis, and A. Gowans, "IEEE 802.15.6 regulation subcommittee report," 15-08-0034-08-0006-ieee-802-15-6-regulation-subcommittee-report.doc
- [26] ERC Recommendation 70-03 relating to the use of Short Range Device (SRD), European Conference of Postal and Telecommunications Administrations, CEPT/ERC 70-03, Tromsø, Norway, 1997.
- [27] B. Zhen, H. B. Li, and R. Kohno, "IEEE body area net-works and medical implant communications," Proceed-ings of the ICST 3rd International Conference on Body Area Networks, Tempe, Arizona, 2008.
- [28] B. Zhen, M. Patel, S.-H. Lee, and E.-T. Won, "Body area network (BAN) technical requirements," 15-08-0037-03-0006-ieee-802-15-6-technical-requirements document-v-5-0.doc
- [29] A. W. ASTRIN, H.-B. LI, and R. KOHNO, "standardization for body area networks," IEICE Transactions on Communications, vol. E92.B, no. 2, pp. 366.372, 2009.
- [30] "Federal communications commission (FCC), code of federal regulations (CFR), title 47 part 95, MICS band plan," [Online]. Available: www.fcc.gov, Mar 03, 2013.
- [31] "International telecommunications union-radio communications (ITU-R), radio regulations, section 5.138 and 5.150," [Online]. Available: www.itu.int/home. 2013.
- [32] "Federal communications commission (FCC), code of federal regulations (CFR), title 47 part 95, WMTS band plan," [Online]. Available: www.fcc.gov, Jan. 2013.
- [33] Y. Kamyay Yazdandoost et al, "Channel Characterization for BAN Communications," IEEE802.15-07-0641-00-0ban.
- [34] Yazdandoost and Sayrafian, "Channel Model for Body Area Network (BAN)," IEEE P802.15-08-0780-09-0006, Apr. 2009.
- [35] S. Ullah et al, "A Review of Wireless Body Area Networks for Medical Applications," International J. of Communications Network and System Sciences (IJCNS), vol. 2, no. 8: 797-803. July 27, 2009.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [36] S. Promwong, "Optimum template receiver of ultra wideband transmission network for short-range wireless communication systems," International Conference on Information Networking (ICOIN), pp. 1-5, Jan. 2009.
- [37] J. Takada, S. Promwong and W. Hachitani, "Extension of Friis' Transmission Formula for UWB Systems," Technical Report of IEICE, WBS2003-8/MW2003-20, May. 2003.
- [38] S. Promwong, W. Hachitani and J. Takada, "Experimental Evaluation Scheme of UWB Antenna Performance," Technical Meeting on Instrument and Measurement, IEE Japan, IM-03-35, June. 2003.
- [39] 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.
- [40] S. Promwong, and J. Takada, "Evaluation of Distortion Due to the Antennas in Ultra-Wideband Impulse Radio," Asia-Pacific Microwave Conference (APMC), pp.1209-1212, Vol. III, Dec. 2007.
- [41] S. Keolounxay, S. Promwong, W. Boonsing, N. Sukutamantanti, and Jun-ichi Takada, "SNR Gain Analysis of Ultra Wideband Template Receiver for Wireless Personal Area Network," The 14th Asia-Pacific Conference on Communication (APCC), pp.15-PM2-E, Oct. 14-18, 2008.
- [42] T. Rappaport, "Wireless Communications: Principles and Practice," 2nd Edition: Prentice Hall, 2001.
- [43] G. Quintero, J.-F. Zurcher and A.K. Skrivervik, "System Fidelity Factor: A New Method for Comparing UWB Antenna," IEEE Transactions on Antenna and Propagation, vol. 59, no. 7, pp. 2502-2512, Jul 2011.
- [44] S. Promwong, P. Supanakoon, J. Takada, "Waveform Distortion and Transmission Gain Due to Antennas on Ultra Wideband Impulse Radio," IEICE Transactions on Communications 2010, vol.E93-B, no.10, pp.2644-2650.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [45] S. Duangsuwan, S. Promwong, N. Sukutamantanti, "Measurement and Evaluation of FFID Propagation Channel with in an Indoor Environment," ICACTE, pp. 393-395, Dec. 2008.
- [46] K. Teplee, P. Supanakoon, S. Promwong and J. Takada, "A BER Performance of UWB Communication with Matched Filter and Correlation Receivers," the 2007 ECTI International Conference, pp. 872-875, 2007.
- [47] Skycross Company. "3.1-10 GHz Ultra-Wideband Antenna for Commercial UWB Applications." [Online]. Available: <http://www.skycross.com/>. 2003.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวิทยานิพนธ์

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติ

- [1] C. Sanguanpuak, S. Promwong, and C. Bunlaksananusorn, "Measurement and Investigation of HB-UWB Transmission Link for BAN System", *JMM*, vol. 19, no. 06, pp. 1463–1480, Oct. 2023.

บทความที่ได้นำเสนอในการประชุมวิชาการนานาชาติ

- [1] C. Sanguanpuak, C. Bunlaksananusorn and S. Promwong, "HB Channel Measurement and Modeling in UWB for WBAN," 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. 124-127, doi: 10.1109/ECTI-NCON.2019.8692288.
- [2] C. Sanguanpuak, C. Bunlaksananusorn and S. Promwong, "Distortion Analysis of the HB-UWB Transmission Waveform for WBAN Applications," 2018 Global Wireless Summit (GWS), Chiang Rai, Thailand, 2018, pp. 16-20, doi: 10.1109/GWS.2018.8686569.

Editor-in-Chief: Pavlos Lazaridis

ISSN 1550-4646

Journal of Mobile Multimedia

JMM



River Publishers

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Measurement and Investigation of HB-UWB Transmission Link for BAN System

Chanidaphar Sanguanpuak, Sathaporn Promwong*
and Chanin Bunlaksananusorn

*School of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand*

*E-mail: jinnyariose@gmail.com; sathaporn.pr@kmitl.ac.th;
chanin.bu@kmitl.ac.th*

** Corresponding Author*

Received 16 June 2023; Accepted 12 August 2023;
Publication 13 October 2023

Abstract

The short-range wireless multimedia is consider used a ultra wideband (UWB) technology for human body mobile and multimedia applications shows promise for wireless multi-media systems. Based on IEEE 802.15.6, wireless body area networks (BAN) require understanding the human body's effects on channel characteristics. This paper presents how to evaluation of human body ultra-wideband (HB-UWB) transmission with line-of-sight and non-line-of-sight scenario. Our research aims to enhance HB-UWB channel propagation on the body media by employing with CLEAN algorithm to eliminate noise. This research leverage findings from previous studies to facilitate performance comparison. Furthermore, for analyze system performance using the CLEAN algorithm at different body positions. The measurement setup covers band the FCC regulated from 3.0 GHz to 11 GHz. It includes the tested with wideband antenna and vector network

Journal of Mobile Multimedia, Vol. 19_6, 1463–1480.

doi: 10.13052/jmm1550-4646.1965

© 2023 River Publishers

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1464 C. Sanguanpuak et al.

analyzer (VNA). HB-UWB characteristics are shown in the path loss and power delay profile are discussed as relevant parameters. This research is very useful for design and evaluation of human body mobile network and wireless multimedia systems.

Keywords: UWB, HB-UWB, WBAN, wireless multimedia system, CLEAN algorithm.

1 Introduction

Ultra-wideband (UWB) is wireless multimedia technology that has gained significant recognition in modern short range wireless multimedia systems due to its advantages, including low energy consumption, big data transmission multimedia system, low transmitted power, and anti-multipath capability [1–5]. UWB is big bandwidth particularly suitable for in an indoor media environment such as wireless personal multimedia and body area multimedia, as it helps minimize noise interference from other coexisting wireless systems. UWB communication utilizes a unique pulse-based approach with low power spectrum density and compact pulse shapes, enabling transmission over a wide bandwidth instead of a narrow frequency band typically used in other wireless multimedia technologies. The UWB big frequency spectrum, regulated by the FCC, spans from 3.1 GHz to 10.6 GHz, with a minimum bandwidth of 500 MHz, the best for multimedia technology.

Wireless body area networks (WBANs) have emerged as a prominent and dynamic area of research within short-range wireless multimedia systems. These networks are designed to facilitate seamless and unobtrusive communication within a limited range of 1–5 meters around the human body, opening various applications and possibilities [6].

WBANs encompass various domains, with healthcare and non-healthcare applications being the primary focus. Healthcare applications of WBANs prioritize reliability and accuracy in monitoring and diagnostic capabilities. These applications play a crucial role in medical settings, enabling continuous monitoring of vital signs, remote patient monitoring, and early detection of health issues. To meet the stringent requirements of healthcare applications, WBANs in this domain emphasize factors such as emitted power control, power consumption optimization, and robustness in wireless transmission [7].

On the other hand, non-healthcare applications of WBANs are geared towards providing high-speed data transfer, primarily for entertainment.

These applications cater to augmented reality gaming, virtual reality experiences, and multimedia streaming. WBANs aim to deliver maximum data rates in these scenarios, ensuring a seamless and immersive user experience. Achieving high throughput and low latency becomes a priority, allowing users to enjoy real-time interactions and multimedia content without any perceivable delay [8].

Another aspect that distinguishes WBANs is the mode of application deployment, which can be categorized as wearable or implantable. Wearable WBANs consist of devices that are externally worn by individuals, such as smartwatches, fitness trackers, or sensor-equipped clothing. These devices provide continuous monitoring, activity tracking, and personalized health feedback. On the other hand, implantable WBANs involve the insertion of tiny sensors or devices within the human body, enabling real-time monitoring of vital signs, drug delivery, and localized treatment. Both wearable and implantable WBANs come with their challenges and considerations, such as device miniaturization, power management, data transmission efficiency, and ensuring compatibility with human body [9].

The research landscape of WBANs is expansive and encompasses various areas of investigation. These include signal propagation within the body, interference mitigation techniques, energy-efficient communication protocols, security and privacy measures, and data reliability. Researchers strive to address these challenges and develop innovative solutions to enhance the performance and capabilities of WBANs multimedia [10–13].

This paper presents an HB-UWB transmission waveform for WBAN systems, considering both line-of-sight (LOS) and non-line-of-sight (NLOS) scenarios. In the LOS case, a biconical antenna serves as the transmitter. In contrast, a microstrip patch antenna is placed before the human body to act as the receiver. Conversely, in the NLOS scenario, the receiver is positioned behind the human body with LOS and NLOS are employed to examine the impact of the human body on BAN communication. The transmission channel utilizes an extended version of Friis' formula for UWB signals. It operates within the frequency range of 3.1 GHz to 10.6 GHz, as the FCC regulates. This study demonstrates the practicality of HB-UWB transmission measurement and its implications in the presence of a WBAN multimedia systems.

Initially developed for radio astronomy and microwave communication, the CLEAN algorithm has found extensive application in both narrow-band and UWB communication, including localization and UWB biomedical imaging [14]. It involves cancelling similarities between a dirty map

1466 *C. Sanguanpuak et al.*

(measurement) and a template (a priori information) to reconstruct a clean map (CIR). However, CLEAN assumes a non-dispersive channel, where the resulting CIR is a sum of amplitude-scaled and time-shifted versions of the a priori information. This assumption must be carefully considered when probing the channel with sub-nanosecond impulses in UWB time-domain channel sounding [15]. Due to the wide spectral occupancy of UWB pulses and numerous objects in the channel, the received signal is severely distorted, primarily in frequency-selective propagation phenomena caused by object materials, orientations, and shapes. This distortion is particularly pronounced in non-line-of-sight (NLOS) and long-range line-of-sight (LOS) measurements [16].

This paper aims to improve UWB channel propagation on the human body using the CLEAN algorithm and compare it with the case without using it. The CLEAN algorithm is applied to UWB localization and HB-UWB, enhancing the performance of channel propagation for communication systems and medical applications. By reducing noise in UWB channel propagation, the CLEAN algorithm helps estimate the directional signal and channel propagation more effectively. In this paper, we build a new channel impulse response (CIR) or CLEAN map based on the original data.

The subsequent sections of this paper are organized as follows: Section 2 explains the HB-UWB transmission loss. Setup of measurement setup and parameters are described in Section 3. Section 4 discussion and results of research. Finally, the concludes of research with key findings.

2 Waveform Transmission Analysis

In conventional wireless short-range system, when examining the propagation of signals in unobstructed, free space, it is customary to utilize the widely adopted Friis' transmission equation. This equation is valuable for analyzing the link budget, particularly in line-of-sight scenarios. To shed light on the specifics of the transmission process in the context of our research, we present a comprehensive illustration of the waveform transmission analysis in Figure 1. This model encapsulates the key elements and parameters involved in the transmission, allowing for a better understanding and evaluation of the system's performance.

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

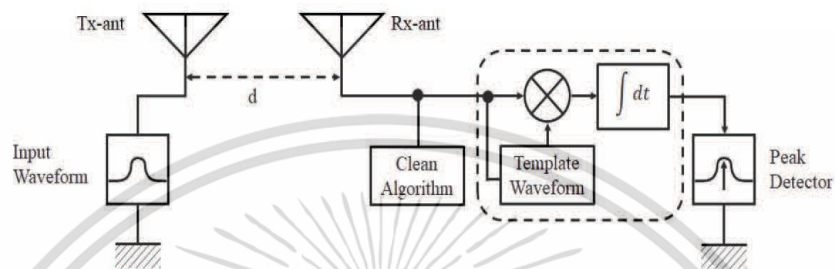


Figure 1 The waveform transmission analysis for HB-UWB multimedia system.

In this study, it is essential to explore the intricacies of the antenna system and the associated parameters. The transmitted antenna input power is represented as $P_t(f)$, symbolizing the magnitude of the signal being transmitted. On the receiving end, we have the received antenna output power denoted as $P_r(f)$, which captures the strength of the received signal. Furthermore, we consider the received antenna gain, denoted as $G_r(f)$, and the transmitted antenna gain, denoted as $G_t(f)$, both of which play significant roles in shaping the overall signal characteristics.

$$G_f(f) = \frac{P_r(f)}{P_t(f)} \quad (2)$$

In the examining of propagation dynamic of free space loss, to determining the propagation channel gain, denoted as $G_f(f)$. This gain represents the amplification or attenuation experienced by the signal as it propagates through space. It can be mathematically expressed as the ratio of the received antenna output power $P_r(f)$ to the transmitter antenna power input $P_t(f)$. Considering factors such as wavelength (λ), the velocity of light (c), the working frequency (f), and the distance maximum (d) between the transmitter and receiver antennas, the free space transmission gain can be calculated.

Expanding upon the classical Friis transmission equation, in the extend to analysis to incorporate the system transfer function [7]. This extension allows us to gain deeper insights into the behaviour and characteristics of the transmission system under consideration. By considering the system transfer function, it can be more comprehensively understand the signal propagation and its impact on the overall system performance.

$$H_{e-Friis}(f) = \frac{V_r(f)}{E_i} = H_f(f)H_i(f)H_r(f) \cdot H_t(f) \quad (3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1468 C. Sanguanpuak et al.

where

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

is the free space transfer function of wireless communications, when

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (5)$$

is the constant of free space propagation, $H_i(f)$ is transmitted signal filter, $H_t(f)$ and $H_r(f)$ are transfer function of transmitted antenna and transfer function of received antenna, respectively.

The profile of power delay model means the relative power of the taps for the wireless propagation loss. It provides the characteristic delay as the variant value of mean power as expressed as

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i^2 \tau_i}{\sum_{i=1}^n a_i^2} = \frac{\sum_{i=1}^n P(\tau_i) \tau_i}{\sum_{i=1}^n P(\tau_i)} \quad (6)$$

with $\bar{\tau}$ is mean excess delay, a_i is signal level of path i , $P(\tau_i)$ is power level of signal path i and τ_i is time delay of signal path i .

The HB-UWB transmission loss given the relationship between of the peak maximum value of waveform transmitted and waveform received.

$$P_{UWB}(dB) = 20 \log \left[\frac{\max |v_t(t)|}{\max |v_r(t)|} \right] \quad (7)$$

$$v_t(t) = \int_{-\infty}^{\infty} H_t(f) e^{j2\pi f_c t} dt \quad (8)$$

$$v_r(t) = \int_{-\infty}^{\infty} H_r(f) e^{j2\pi f_c t} dt \quad (9)$$

with the transmitted waveform is $v_t(t)$ and the received waveform is $v_r(t)$.

2.1 CLEAN Algorithm

In this paper, to explore an innovative application of the CLEAN algorithm to address the unique challenges and intricacies for the HB-UWB (Human Body Ultra-Wideband) characterization. While the CLEAN algorithm has previously found success in localization tasks [14], our primary objective lies in harnessing its potential within the domain of HB-UWB, where the

aim is to enhance signal quality by effectively mitigating noise and reducing signal distortion. By leveraging the inherent capabilities of the CLEAN algorithm, we endeavour to refine and optimize the performance of HB-UWB multimedia communication systems, opening new frontiers for advancements in wireless multimedia.

Although the basic framework of the CLEAN algorithm for narrow-band channel processing was initially introduced in [15], catering to the precise estimation of time of arrival (ToA) details through the ingenious application of image processing techniques, our research takes a bold step forward by expanding its functionality to cater specifically to the demands and intricacies of HB-UWB scenarios. By adapting and tailoring the CLEAN algorithm to the unique characteristics of HB-UWB multimedia signals, we aim to unlock its full potential for noise reduction and signal enhancement, ultimately ensuring seamless and reliable communication in complex propagation environments.

Implementing the CLEAN algorithm for HB-UWB entails a sophisticated and meticulous series of computations, with a critical focus on the correlation coefficient function. This pivotal component serves as the backbone of the algorithm, enabling the identification and isolation of unwanted noise components, which can severely hamper signal quality. By adeptly removing these undesirable noise elements and reconstructing the underlying signals, the CLEAN algorithm showcases its prowess in restoring clarity and fidelity to the received signals [16].

To provide a visual representation of the efficacy of our proposed approach, we present Figure 2, which elucidates the intricate process of signal cleanup and restoration. This illustrative depiction shows the algorithm's ability to enhance signal quality, fostering reliable and robust communication in HB-UWB scenarios.

However, it is imperative to emphasize that while these algorithms demonstrate remarkable accuracy in estimating channel characteristics, a cautious approach is warranted when interpreting their outputs, particularly the channel impulse response (CIR). As with any modeling-based approach, it is crucial to acknowledge and consider the inherent limitations and potential disparities between the modeled assumptions and the real-world conditions. By maintaining a keen awareness of these factors, researchers and practitioners can make well-informed decisions and extract meaningful insights from the generated CIR data, ensuring the effective deployment and optimization of HB-UWB multimedia systems.

1470 C. Sanguanpuak et al.

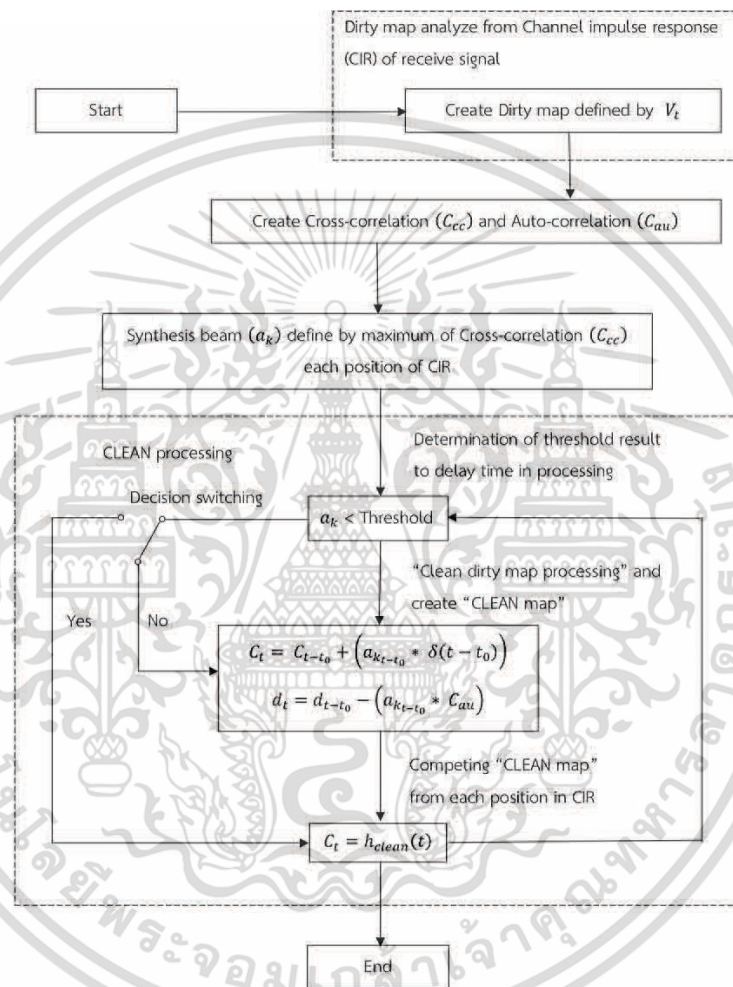


Figure 2 Flowchart of HB-UWB transmission analysis with CLEAN algorithm.

3 HB-UWB Measurement Preparations

3.1 The Transmitted Waveform of HB-UWB System

To comply with the FCC standard for wireless UWB multimedia systems in WBAN multimedia applications, the transmitted waveforms for HB-UWB are designed using rectangular passbands. This choice ensures compliance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

with the required bandwidth from 3.1 GHz to 10.6 GHz. In the time domain, the waveform's impulse response is characterized by Equation (10). In contrast, its power spectral density in the frequency domain is determined by Equation (11). By utilizing these equations, we can effectively shape and define the HB-UWB waveforms, enabling reliable and efficient communication within designated bandwidth.

$$v_t(t) = \frac{1}{f_b} [f_{\max} \sin c(2f_{\max}t) - f_{\min} \sin c(2f_{\min}t)] \quad (10)$$

$$V_t(f) = \begin{cases} \frac{A}{2f_b} & ||f| - f_c| \leq \frac{f_b}{2} \\ 0 & ||f| - f_c| > \frac{f_b}{2} \end{cases} \quad (11)$$

The bandwidth of frequency is f_b , center of frequency is f_c , frequency high is f_{\max} , and frequency low is f_{\min} , and amplitude is A . These parameters represent the ideal scenario in which HB-UWB transfer function are employed, maximizing the available bandwidth, power, and average amplitude of the waveform transmitted. The waveform of the transmitted of system model is illustrated in Figures 3 and 4, providing a visual representation of the signal characteristics in the research.

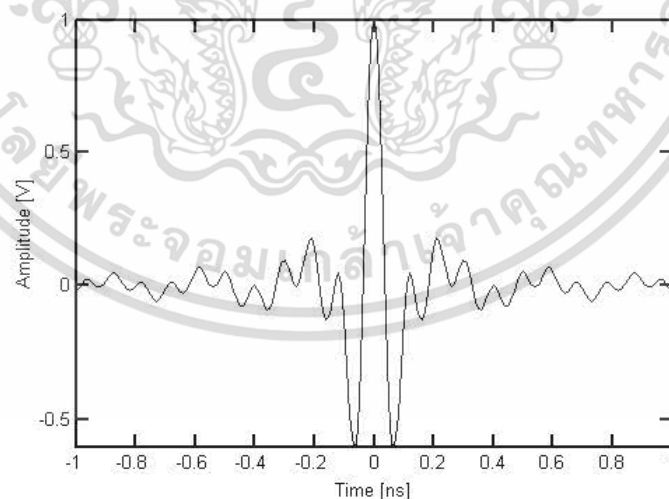


Figure 3 The transmitted waveform for HB-UWB multimedia systems.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1472 C. Sanguanpuak et al.

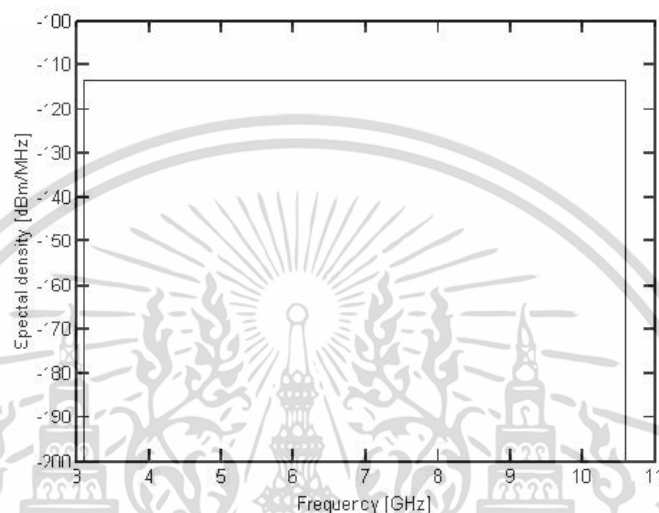


Figure 4 The transmitted spectrum for HB-UWB multimedia systems.

3.2 HB-UWB Measurement Setup

Utilizing a vector network analyzer is pivotal in facilitating the measurement and collection of valuable data for this research endeavour. In the sophisticated capabilities, the vector network analyzer is a fundamental tool for capturing and analyzing the complex characteristics of the channel transfer function. This transfer function emerges as a product of the transmitted and received antenna transfer functions, providing insights into the intricate dynamics of the communication system.

To ensure the accuracy and reliability of the measurements, a well-defined and meticulously designed measurement model and setup have been devised. These models, presented in the illustrative Figures 5 and 6, encompass both line-of-sight (LOS) and non-line-of-sight (NLOS) scenarios, offering a comprehensive understanding of the channel behaviour in diverse propagation conditions.

The experimental setup entails strategically placing the received antenna on the human body in ten locations. This deliberate positioning enables a thorough examination of the impact of different body parts on wireless communication performance. By systematically varying the placement of the received antenna, the research aims to discern the intricate interplay between the human body and the wireless transmission system.

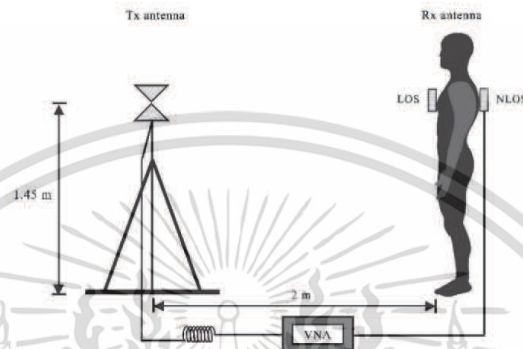


Figure 5 The measurement configuration for HB-UWB multimedia system.

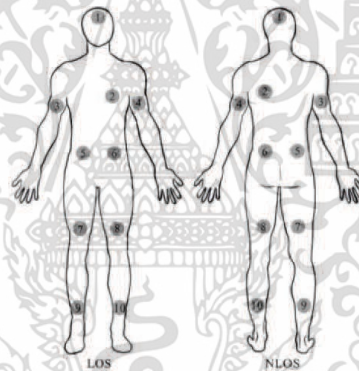


Figure 6 The received antenna orientation with human body of LOS and NLOS.

Furthermore, the transmitted and received antennas are meticulously oriented toward each other, ensuring optimal signal reception and transmission. This configuration fosters a controlled and well-defined experimental environment, allowing for precise measurements and accurate analysis of the channel characteristics.

It is worth noting that the separation distance between the transmitted and received antennas has been intentionally set to 2 meters. This distance is chosen to balance capturing the near-field effects, which are prominent in short-range wireless multimedia systems and maintaining an adequate distance to minimize interference and maintain signal integrity.

Through this comprehensive measurement model and setup, this research seeks to unravel the intricate nuances of wireless communication in the

1474 C. Sanguanpuak et al.

Table 1 Parameters of HB-UWB measurements

Parameters	Values
Frequency Range (GHz)	3 – 11
Number of Frequency Points	801
Transmitter Antenna Type	Biconical
Receiver Antenna Type	Minder line
Transmitter Height (cm)	145
Receiver Height Range (cm)	15 – 165
Body height (cm)	165
Separate of Tx and Rx antennas (cm)	200

context of the human body. By meticulously investigating the effects of different body locations and propagation scenarios, valuable insights will be gained, paving the way for improved wireless system designs and efficient utilization of the electromagnetic spectrum.

Table 1 in this research manuscript contains important parameters for HB-UWB measurement. It includes the calibration kit components (connectors, cables, and antennas) used with the vector network analyzer (VNA). Additionally, the table lists the characteristics of the transmitted and received antennas based on their respective structures.

4 The Measurement Results

Figure 7 comprehensively analyzes the path loss characteristics in HB-UWB multimedia channels under various conditions, namely free space, line-of-sight (LOS), and non-line-of-sight (NLOS). The results obtained from this study reveal interesting insights into the behaviours of path loss as a distance function. Notably, it is observed that path loss increases consistently with the increase in distance across all scenarios.

A similar path loss trend is observed in free space and LOS, indicating a proportional relationship between distance and signal attenuation. However, the NLOS scenario exhibits significantly higher path loss compared to free space and LOS. This can be attributed to the additional obstacles and propagation challenges encountered by the signal in NLOS conditions, such as reflections, diffractions, and obstructions caused by buildings or other objects.

Power delay profiles are analyzed and presented in Figures 8, 9, and 10 further to understand the impact of these different channel conditions. These profiles provide valuable insights into the distribution of power received as

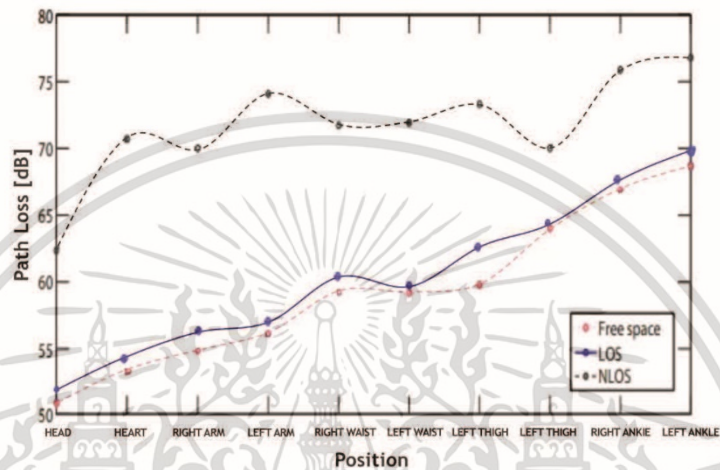


Figure 7 Path loss of HB-UWB multimedia transmission with free space, LOS and NLOS.

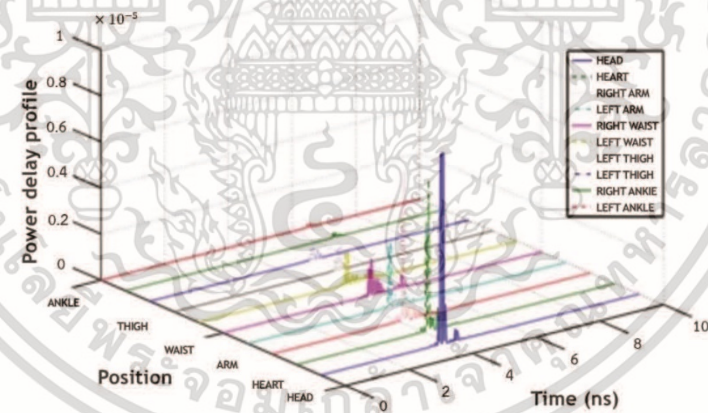


Figure 8 HB-UWB transmission delay with free space case.

a function of time and position. The analysis reveals distinct characteristics for each scenario. In the case of free space, the power delay profile exhibits a relatively uniform distribution, indicating consistent signal propagation without significant distortions or delays. On the other hand, the LOS power delay profile shows some variations and fluctuations, suggesting the influence of direct signal paths and potential multipath components due to reflections.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1476 C. Sanguanpuak et al.

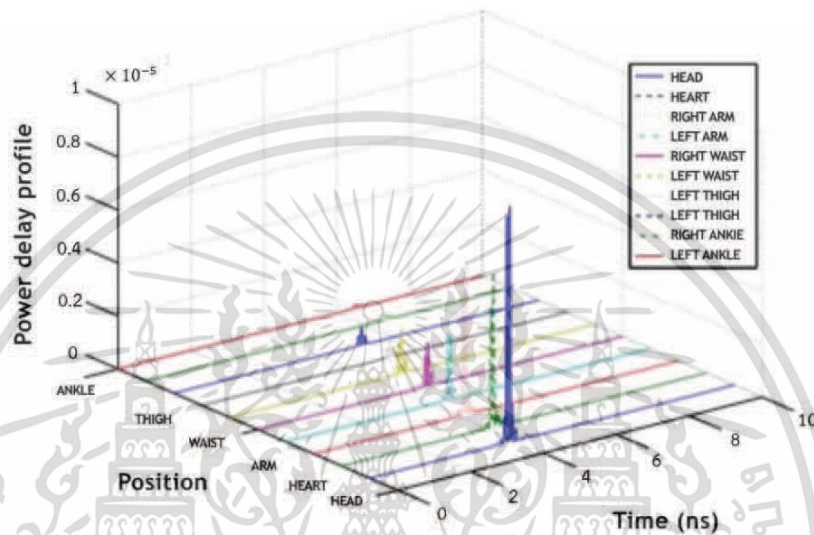


Figure 9 HB-UWB transmission delay with LOS case.

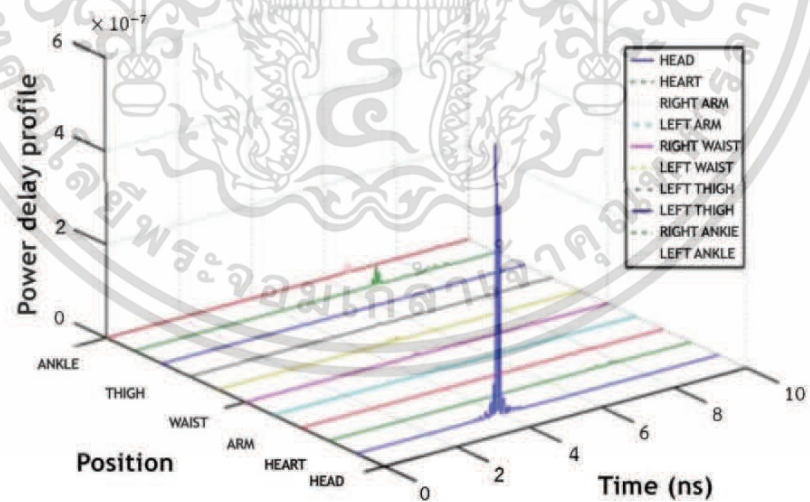


Figure 10 HB-UWB transmission delay with NLOS case.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

In contrast, the NLOS power delay profile exhibits a noticeable reduction in the magnitude of the power distribution. This can be attributed to the increased path loss and additional signal attenuation mechanisms introduced by obstacles and environmental factors in the NLOS propagation environment.

It is important to note that the human body and shadowing effects play crucial roles in HB-UWB channel characteristics. These factors introduce additional complexities and signal distortions that must be carefully considered. Understanding the transmission behavior, antenna radiation patterns, and signal levels in HB-UWB systems is essential for accurate channel characterization and effective multimedia system design.

5 Conclusions

This research holds significant value in a wireless multimedia communication technology and has several notable contributions. By evaluating the HB-UWB transmission waveform in both LOS and NLOS scenarios within WBAN multimedia systems, to have gained valuable insights into the effects of the human body on wireless multimedia communications. One of the key benefits of this research is the improved understanding of the multimedia channel characteristics and performance limitations associated with HB-UWB multimedia communication in the presence of the human body media. By analyzing the channel transfer function, path loss, and power delay profile, to provided valuable data and measurements that can be used to optimize the design and deployment of HB-UWB multimedia communication systems. The findings from this research also emphasize the importance of considering the selective channel and shadowing effects caused by the human body. By incorporating this knowledge into the development of HB-UWB receivers and communication protocols, it is possible to enhance the reliability and performance of wireless multimedia communication in WBAN systems, particularly in NLOS scenarios.

Furthermore, this research highlights the need for specialized deployment strategies for HB-UWB transmission in WBAN multimedia systems. By considering the unique channel characteristics influenced by the human body, system designers and engineers can develop tailored approaches that mitigate the impact of shadowing and ensure strong communication links. The contributions of this research extend beyond theoretical knowledge and provide practical insights that can be applied in real-world scenarios. By addressing the challenges and limitations associated with HB-UWB multimedia,

1478 C. Sanguanpuak et al.

have a way for advancements in wireless healthcare monitoring, wearable technologies, and other applications where WBAN multimedia systems play a crucial role.

References

- [1] Federal Communications Commission, “Revision of Part 15 of the Commission’s Rules Regarding Ultra-Wideband Transmission Systems,” First Report and Order, FCC 02–48, Apr. 2002.
- [2] N. Kulkarni, D. Mantri, N. R. Prasad, and R. Prasad, “EEHRP: Energy Efficient Hybrid Routing Protocol for Wireless Sensor Networks,” in *Journal of Mobile Multimedia*, vol. 17, no. 1–3, pp. 245–272, 2021.
- [3] I. Oppermann, M. Hamalainen and J. Iinatti, “UWB Theory and Applications,” 2004.
- [4] V. Niemelä, J. Haapola, M. Hämäläinen, and J. Iinatti, “An Ultra Wideband Survey: Global Regulations and Impulse Radio Research Based on Standards,” in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 19, no. 2, pp. 874–890, Secondquarter 2017.
- [5] P. S. Sharma, S. Vijay, and M. Shuka, “Ultra-Wideband Technology: Standards, Characteristics, Applications,” in *Helix*, vol. 10, no. 4, pp. 59–65, 2020.
- [6] H-B. Li, K. Y. Yazdandoost, B. Zhen, “Wireless Body Area Network,” River Publishers, 2010.
- [7] S. Velliangiri, V. Anbarasu, P. Karthikeyan, and S. P. Anandaraj, “Intelligent Personal Health Monitoring and Guidance Using Long Short-Term Memory,” *Journal of Mobile Multimedia*, vol. 18, no. 2, pp. 349–372, 2021.
- [8] C. Otto, A. Milenković, C. Sanders, and E. Jovanov, “System Architecture of a Wireless Body Area Sensor Network for Ubiquitous Health Monitoring,” *Journal of Mobile Multimedia*, vol. 1, no. 4, pp. 307–326, 2006.
- [9] H-B. Li, K. Y. Yazdandoost, and B. Zhen, “Wireless Body Area Network,” River Publishers Series in Computing and Information Science and Technology, 2019.
- [10] N. Kulkarni, D. Mantri, N. R. Prasad, and R. Prasad, “EEHRP: Energy Efficient Hybrid Routing Protocol for Wireless Sensor Networks,” in *Journal of Mobile Multimedia*, vol. 17, no. 1–3, pp. 245–272, 2021.
- [11] S. Promwong, “Quantitative Evaluation of Waveform Distortion Due to Antenna in Ultra-Wideband Impulse Radio,” Ph.D. dissertation,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Department of Communications and Integrated Systems, Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan, 2009.

- [12] F. D. Cardoso, M. M. Ferreira, S. J. Ambroziak, and L. M. Correia, "A Wideband Channel Model for Body Area Networks in Circular Metallic Indoor Environments," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 73791–73798, 2021.
- [13] H. Liu et al., "Performance Assessment of IR-UWB Body Area Network (BAN) Based on IEEE 802.15.6 Standard," in *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 15, pp. 1645–1648, 2016.
- [14] A. Chandra et al., "CLEAN algorithms for intra-vehicular time-domain UWB channel sounding," 2015 International Conference on Pervasive and Embedded Computing and Communication Systems (PECCS), Angers, France, pp. 1–6, 2015.
- [15] W. Yang and Z. Naitong, "A New Multi-Template CLEAN Algorithm for UWB Channel Impulse Response Characterization," 2006 International Conference on Communication Technology, Guilin, pp. 1–4, 2006.
- [16] K. Koonchiang, D. Arpasilp, and S. Promwong, "Performance Evaluation of UWB-BAN with Friis's Formula and CLEAN Algorithm," in *Multimedia and Ubiquitous Engineering: MUE 2013*, Springer Netherlands, pp. 879–886, 2013.

Biographies



Chanidaphar Sanguanpuak holds an M.Eng. and B.Eng. degree in telecommunications from the Faculty of Engineering at King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL). Currently, she is enrolled in a doctoral program at the same faculty. Her research focuses on wireless body area networks, antennas, radio wave propagation, and ultra-wideband (UWB)

1480 C. Sanguanpuak et al.

technology. With a strong interest in these areas, she is dedicated to advancing knowledge and innovation in telecommunication engineering.



Sathaporn Promwong received a Ph.D. in communications and integrated systems from the Tokyo Institute of Technology (TIT), Japan. He is a faculty member at KMITL's Department of Telecommunication Engineering. His expertise spans partial discharge, antenna and wave propagation, wireless channel measurement, digital broadcasting, and WiMedia. He holds leadership positions in IEEE, IEICE, and serves as the chair of the IEEE Broadcast Technology Society (BTS) Thailand chapter.



Chanin Bunlaksananusorn received a Ph.D. degree in electrical engineering from The University of Edinburgh, UK, in 1997. He is currently an associate professor in the School of Engineering at King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL). His research focuses on power electronics and energy conversion.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ECTI &
DAMT 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

JANUARY 30 - 2 FEBRUARY 2, 2019 NAN, THAILAND

www.icdamt.org

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HB Channel Measurement and Modeling in UWB for WBAN

Chanidaphar Sanguanpuak, Chanin Bunlaksananusorn, and Sathaporn Promwong
Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

E-mail: jinnyariose@gmail.com, kbchanin@gmail.com, and sathaporn.pr@kmitl.ac.th

Abstract— The combination of ultra-wideband and wireless human body application is a promising communication system for future wireless system in short range. In particular, wireless body area network is based on IEEE 802.15.6. Therefore, the effect with human body is very important to know a channel characterization. In this paper, the line of sight and non-line of sight scenario have been presented. The measurement is coverage as a full-band of FCC regulation which is 3.1 GHz to 10.6 GHz and include the under test antenna and vector network analyzer is provided. In order to investigate some of parameter, path loss and power delay profile are discussion.

Keywords—HB, UWB, WBAN, impulse radio, Friis' transmission formula

I. INTRODUCTION

Ultra-wideband (UWB) technology gain majority of the recognition in modern wireless technology because of the merits of UWB in term of low energy consumption, low transmitted power, and anti-multipath capability [1]-[3]. To avoid and reduce the noise from coexist wireless system, the UWB is foresee to be mostly used in an in-building environment such as wireless personal area network and wireless body area network. The UWB impulse is a unique from other wireless communication. Low power spectrum density and tiny pulse shape are used to communication signal in very big bandwidth rather than a narrow band like other wireless technologies. The frequency spectrum of UWB that regulated by FCC is ranging from 3.1 GHz to 10.6 GHz and have bandwidth and fractional bandwidth at greater or equal to 500 MHz and 0.2, respectively.

WBAN has become a prime topic of wireless system in short range communication. It targets to operate within 1-3 m. around human body. As state by the application type, WBAN can divide to health care application and non-health care application. The requirement for health care will concern about reliability, emitting power, and power consumption. For non-health care application, the data transfer in high speed rate is an important factor, because it will commonly use for entertainment purpose which require data rate as high as possible. However, the type of WBAN also able to categorize by the working position of the application which is implant and wearable [9]-[11].

In this paper, we present a HB-UWB transmission waveform with LOS and NLOS models for WBAN system. In LOS case, transmission channel is measured by using a biconical antenna provides the transmitter and microstrip patch antenna composes in front of human body of the receiver. In contrast, the receiver is moved to behind of human body.

The model of LOS and NLOS helps to distinguish. The effect of HB is considered for WBAN communication. Moreover, our transmission channel is based on an extension Friis' formula of UWB signal and covered 3.1 GHz to 10.6 GHz by FCC regulation. However, this paper shows usefully of UWB channel measurement and gracefully in an impact of a human body.

The following part of this paper will construct as follow. HB-UWB transmission waveform will explain in section II, Measurement setup and modeling are describing in section III. Section IV the results are show and discussions. Finally, some concludes will be shown.

II. HB- UWB TRANSMISSION WAVEFORM

The traditional wireless communication is typically use the transmission equation of Friis to analyze the link budget of line of sight propagation in free space communication.

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

while transmitted antenna input power is $P_t(f)$, received antenna output power is $P_r(f)$, $G_r(f)$ and $G_t(f)$ are received antenna gain and transmitted antenna gain, respectively. Propagation gain in free space can be given by

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

when wavelength is λ , the velocity of light is c , the working frequency is f , and the maximum distance between transmitted antenna and received antenna is d .

In this research we extend the transmission equation of Friis to consider the system transfer function as

$$H_{e\text{-Friis}}(f) = \frac{V_r(f)}{E_i} = H_t(f)H_i(f)H_r(f) \cdot \mathbf{H}_i(f) \quad (3)$$

where

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

is the transfer function in free space communication, when

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (5)$$

is the propagation constant, $H_i(f)$ is transmitted signal transfer function, $\mathbf{H}_t(f)$ and $\mathbf{H}_r(f)$ are transfer function of transmitted antenna and transfer function of received antenna, respectively.

Power delay profile is the meaning of relative power of the taps for wireless transmission channel. It provides the channel delay characteristic as the variant value of mean power as expressed as

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i^2 \tau_i \sum_{i=1}^n P(\tau_i) \tau_i}{\sum_{i=1}^n a_i^2 \sum_{i=1}^n P(\tau_i)} \quad (6)$$

with $\bar{\tau}$ is mean excess delay, a_i is signal level of path i , $P(\tau_i)$ is power level of signal path i and τ_i is time delay of signal path i .

The path loss of HB-UWB is given by the relationship between of the maximum peak value of transmitted signal waveform and received signal waveform.

$$P_{\text{UWB}}(\text{dB}) = 20 \log \left[\frac{\max |v_t(t)|}{\max |v_r(t)|} \right] \quad (7)$$

$$v_t(t) = \int_{-\infty}^{\infty} H_t(f) e^{j2\pi f t} dt \quad (8)$$

$$v_r(t) = \int_{-\infty}^{\infty} H_r(f) e^{j2\pi f t} dt \quad (9)$$

with the transmitted signal waveform is $v_t(t)$ and the received signal waveform is $v_r(t)$

III. HB MEASUREMENT WITH LOS AND NLOS MODEL

A. Measurement setup

Vector network analyzer is used to measure and collect the measurement result. The results will be in the complex form of the channel transfer function which is the product of transmitted antenna transfer function and received antenna transfer function.

The proposed measurement model is present in Fig. 2. From the model, the received antenna is attach on 10 different locations on human body in order to study the effect of human body from different part of human body. Both transmitted antenna and received antenna are facing to each other. The separation distance between transmitted antenna and received antenna is set to be 1 m.

B. HB-UWB Transmitted Waveform

For HB-UWB transmitted signal waveforms, consider used the rectangular passband to follow FCC of UWB standard for WBAN in frequency domain of the power spectral density

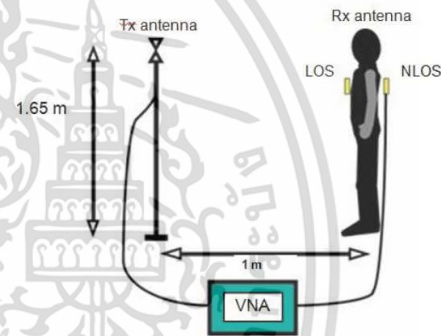


Fig 1. The measurement setup for LOS and NLOS.

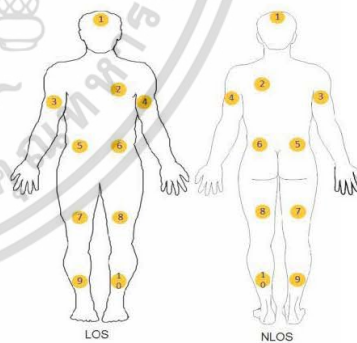


Fig 2. The measurement model with positions on human body. and the time domain of impulse response with 3.1 GHz to 10.6 GHz by Eq. 10 and Eq. 11

$$v_i(t) = \frac{1}{f_b} [f_H \sin c(2f_H t) - f_L \sin c(2f_L t)] \quad (10)$$

$$V_i(f) = \begin{cases} \frac{A}{2f_b} \| |f| - f_c | \leq \frac{f_b}{2} \\ 0 \| |f| - f_c | > \frac{f_b}{2} \end{cases} \quad (11)$$

The amplitude is A , the frequency bandwidth is f_b , the frequency of center is f_c , the high of frequency is f_H , and the low of frequency is f_L . The magnitude constant in signal waveform has A/f_b of the power spectrum density of $-f_H$ to $-f_L$ and f_L to f_H are range of frequency. Then the waveform has the A maximum amplitude at $t = 0$. This is the ideal case of research in HB-UWB channels are used for the maximum bandwidth, power and average amplitude of HB-UWB transmitted signal waveform. The transmitted signal of HB-UWB system show in Fig. 3.

Table of parameters in our experiments are important for this research. In the first of all we have to calibration with cal-kit with the connector, cable and antenna to VNA. However, the characteristics of antenna based on antenna structure of transmitted and received antenna are listed in the Table. 1.

We can see the in the figures 5, 6 and 7 shows the power delay profiles of free space, LOS and NLOS. Which that shows about Receive signal power is a position and time. We can see that is a significant solution with NLOS has power delay profile less than free space and LOS. In the case of effect due to human body and shadowing are important parameters for HB-UWN transfer function. Therefore, HB-UWB channels, antenna radiate and signal level shall be known. The waveform distortion due to the human body, distances, antennas in HB-UWB transmission for WBAN applications should be study and evaluate.

Table 1: MEASUREMENT SETUP PARAMETER

Parameters	Values
Range of Frequency (GHz)	3 - 11
Frequency sweep points	801
Type of Transmitter antenna	BA
Type of Reciever antenna	MLA
Tx height (cm)	165
Rx height (cm)	15 - 165
Body height (cm)	165
Distance Tx to Body (cm)	100
Measurement number (point)	10

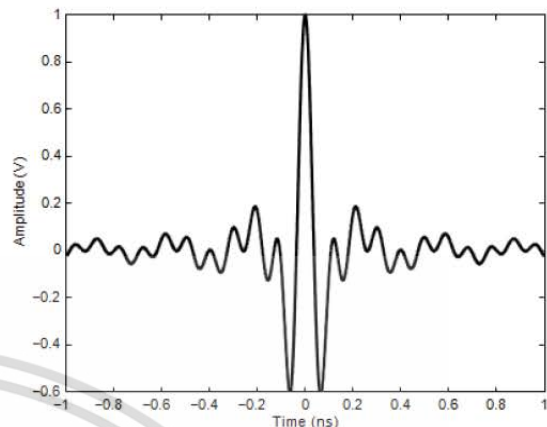


Fig 3. Waveform transmitted of HB-UWB system..

IV. EXPERIMENTAL RESULT

From Fig. 4 show the path loss to comparison between the free space, LOS and NLOS of HB-UWB channels. In this results we can see that the path loss in all case with free space and LOS are similarly by increase of distance. In order for NLOS has the path loss more than free space and LOS.

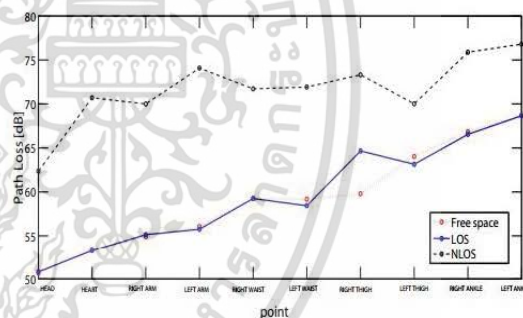


Fig 4. The path loss between free space, LOS and NLOS.

V. CONCLUSIONS

In this report, we evaluated the HB-UWB transmission waveform with LOS and NLOS models for WBAN system. In order to investigate some of effects on the human body, which become significantly for HB-UWB transmission waveform. The effect of human body can be known by the measurement results as the channel transfer function, path loss, and PDP successfully. These results shown that the side effect from human body has been shadowed, it can be leaded to the selective channel for UWB-BAN communications. Therefore, deployment to provide of UWB receiver in NLOS has to consider in WBAN.

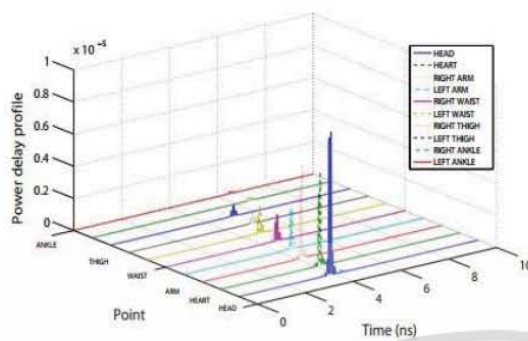


Fig 5. The power delay profile of HB-UWB free space.

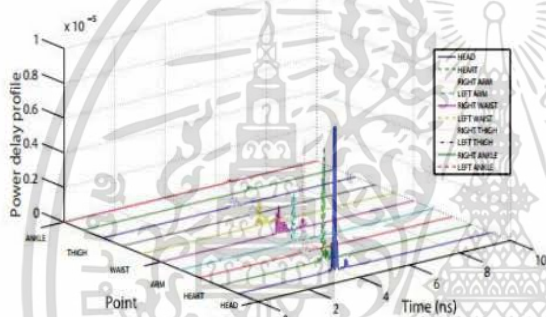


Fig 6. The power delay profile of HB-UWB in LOS case.

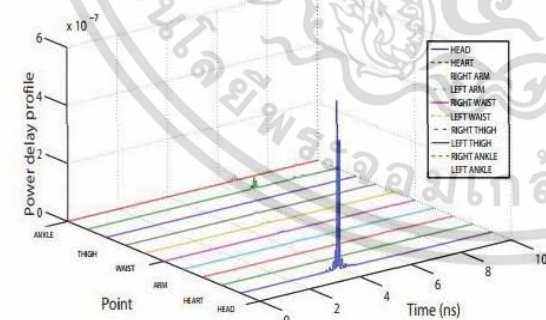


Fig 7. The power delay profile of HB-UWB in NLOS case.

REFERENCES

- [1] K. Siwiak, "Ultra-Wide Band Radio: Introducing a New Technology," 2001 Spring IEEE Vehicular Technology Conference (VTC), vol. 2, pp. 1088-1093, May 2001.
- [2] K. Siwiak, "Ultra-Wide Band Radio: The emergence of an Important RF Technology," 2001 Spring IEEE Vehicular Technology Conference (VTC), vol. 2, pp. 1169-1172, May 2001.
- [3] Federal Communications Commission, "Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding Ultra-Wideband Transmission Systems," First Report and Order, FCC 02-48, Apr. 2002.
- [4] S. Promwong, J. Takada, P. Supanakool, and P. Tangtisanon, "Experimental Study on the applicability of the Complex Form Friis' Transmission Formula in Fresnel Region for UWB Free Space Channel Model," 2004 International Symposium on Antennas and Propagation, August 17-21, 2004. (to be presented).
- [5] H.T. Friis, "A note on a simple transmission formula," Proc. IRE, vol. 34, no. 5, pp. 254-256, May 1946.
- [6] 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.
- [7] S. Promwong, W. Hachitani and J. Takada, "Experimental Evaluation Scheme of UWB Antenna Performance," Technical Meeting on Instrument and Measurement, IEEE Japan, IM-03-35, June 2003.
- [8] S. Promwong, W. Hachitani, J. Takada, P. Supanakool, 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.
- [9] D. Raskovic, T. Martin and E. Javanov, "Medical monitoring application for wearable computing," The computer Journal, vol. 47, no. 4, pp. 495-504, July 2004.
- [10] R. S. H Isepanian, E. Jovanov and 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.
- [11] J. M. Choi, H. J. Kang, Y. S. Choi, "A study wireless body area network applications and channel models," in Proc. FGNC '08, vol. 2, pp. 263-266, Dec. 2008.
- [12] P. Supanakool, K. Wansiang, S. Promwong and J. Takada, "Simple Waveform for UWB Communication," The 2005 Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunication, and Information Technology International Conference (ECTI-CON 2005), pp. 626-629, May 2005.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Distortion Analysis of The HB-UWB Transmission Waveform for WBAN Applications

Chanidaphar Sanguanpuak, Chanin Bunlaksanusorn, and Sathaporn Promwong

Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Bangkok 10520, Thailand
jinnyariose@gmail.com, kbchanin@gmail.com, and sathaporn.pr@kmitl.ac.th

Abstract— The body area network (BAN) is a wireless technology, which play an important role in very short range wireless communications and find a wide variety of applications such as WiMedia for relaying information gathered by biological sensors on body. The ultra wideband (UWB) technology is suitable for BAN system because of transmission by impulse radio and low power. However, signal distortion due to human body effect in human body-ultrawide band (HB-UWB) channel must be study. In this study, we evaluate HB-UWB channel which serious disturbed by the distortion. The distortion can cause extremely poor signal quality to wireless transmission channel even in free space because of the antenna characteristics and waveform distortion. Thus, the understanding of the effect from characterization of antenna and waveform effect is important. The measurement data of distortion analysis due the antenna and human body of HB-UWB for WBAN were presented in this research report. The receiver waveform template was present to maximize system signal to noise ration. The equation of Friis had been used to evaluate the results. The proposed method is practical for the HB-UWB evaluation, UWB antenna design, and provide more precision to identify the waveform distortion. The results can apply for the design of wireless medical devices which focus on the effect of human body

Keywords— BAN, UWB, HB-UWB, WBAN, WUWB

I. INTRODUCTION

The antenna transfer function should be known and evaluate the antenna characteristics before pass to the impulse filter which can cause exceedingly waveform distortion [1]. The general wireless communication systems still require for low cost, small device dimension such as UWB technology. Therefore, the knowledge in distortion of waveform in UWB due to human ody and antenna is important to improve the development of HB-UWB communication systems.

In line of sight of free space scenario, Friis' formula is considered. This research knows the Friis' formula cannot directly apply to impulse radio system of UWB due to the extremely wide pulse bandwidth. Moreover, the waveform from transmit antenna and receive antenna cannot simply compare because the waveform distortion cause by antenna frequency response.

The main objective of this research report is to present a novel transmission analysis scheme to investigate the waveform distortion due to free space channel with human

body in HB-UWB communication systems. Evaluation scheme for link budget, impulse antenna distortion, and correlation receiver were presented in term of frequency transfer function of UWB-IR communication systems which consider as the transmit waveform had developed. The proposed HB-UWB model is a modify from equation of Friis, to adapt the transmit waveform of HB-UWB, we had derived the HB-UWB transfer function [2,3]. Transmission gain, phase, magnitude, and waveform distortion were used to explain the qualited of distortion. The optimize system design procedure with usable description are provide with the comprised of antenna. In addition, qualities of channel distortion were useful to the evaluation and analysis of HB-UWB communication loss.

In this report, the consideration of the waveform distortion due to human body in HB-UWB communication systems had present. This proposed model is based on the formula of Friis, the formula of Friis had been modify by consider the input transmit waveform and optimum receiver template. The experimental was done by using wideband antenna and operate in an anechoic chamber.

II. THOERY OF HB-UWB COMMUNICATION

A. Analysis of HB-UWB Transmission

The evaluation of experiment results of HB-UWB transmission waveform with correlation template at receive side are main objective in this research to use the evaluation result for apply in the development of wireless medical communication systems.

Narrow band communication systems and free space loss channel can be calculating by the formula of Friis [4]. Therefore, HB-UWB communication systems cannot apply it directly as the general form of the formula of Friis is in frequency. Furthermore, the antenna characteristics can be the cause of the distortion in the systems. The explanation of constant gain and aperture were present in [5], but no discussion had been made, although the time-domain antenna effective length has been suggested.

The formula of Friis which commonly used in wireless transmission channel and apply to calculate link budget in line of sight channel is given by.

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

where $G_r(f)$ and $G_t(f)$ are the antenna gain of Rx and Tx,

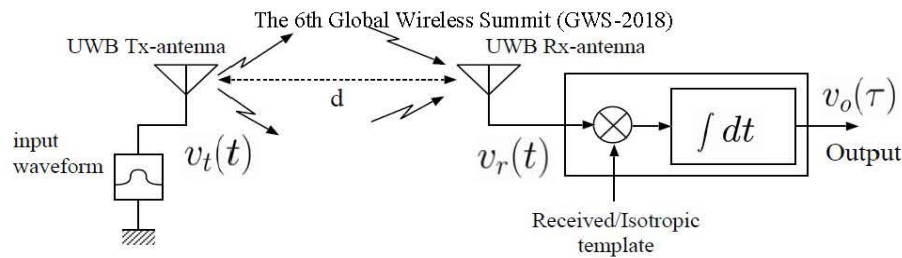


Fig. 1. HB-UWB transmission model for WBAN system

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

is propagation in free space, wavelength is $\lambda = c/f$, the working frequency is f , the light of velocity is c , and the separation distance between transmit antenna and receive antenna

However, Eq. 1 can achieve only some working frequency and unable to apply directly to UWB system. The formula of Friis need to modify to consider the signal waveform and its distortion [2]. The input waveform $v_i(t)$ at input port is a convolution of an waveform input and the impulse filter $h_i(t)$ as

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

where

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

Friis' formula is modify to consider the transmit signal waveform as given by

$$H_{e-Friis}(f) = \frac{V_r(f)}{E_i} = H_r(f) H_1(f) H_r(f) \cdot H_i(f), \quad (5)$$

where

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

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

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

is the free space transfer function where

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

B. The Waveform Correlation Received

Figure 1 present the correlation receiver for WBAN system. The output SNR is dependent on the choice of the template waveform. The receive correlator $v_o(t)$ can be express as

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

where the output waveform at the receiver side which can calculate by use inverse Fourier transform, the waveform template is $h_{wm}(t)$, the time of template waveform is τ , while the optimum time can found by

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

here after $h_w(t)$ is normalize as

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

where the system bandwidth is B , the noise power output is given as $N_o B$, when the spectral density of AWGN is $N_o/2$.

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

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

where τ_o is chosen when $h_{wm}(t) = 0$ for $t < 0$ to satisfy $h_{wm}(t)$ is call received signal waveform transfer hereafter. The link budget can evaluate identically when $h_{wm}(t)$ is chosen as receiver waveform template.

C. Waveform Correlation of Isotropic

Eq. 12 obvious prove that the receive waveform is not the normal time-reversed of the transmit waveform, but the characteristics of antenna and propagation channel in free space. Moreover, the waveform template is angular dependent characteristics, the cloak rate of the waveform shall be generating at 10 GHz. Moreover, a canonical waveform template $h_{wc}(t)$ is considered to use in this research.

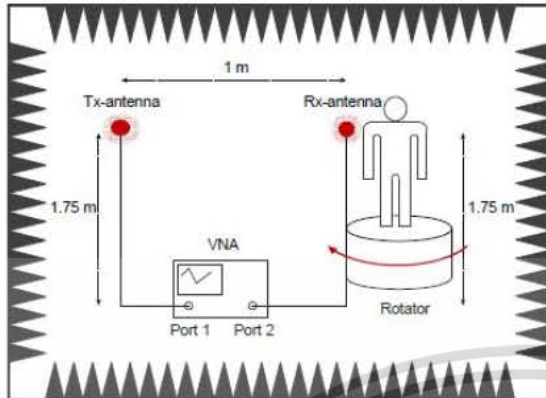


Fig. 2. The experimental setup in anechoic chamber room.

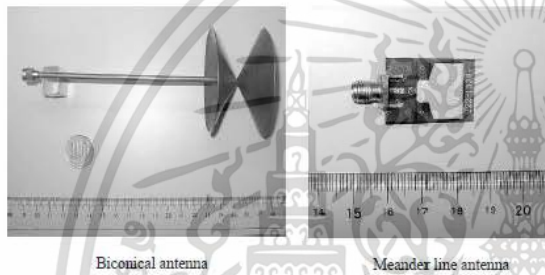


Fig. 3. The wideband antennas.

The optimum template waveform $h_{wc}(t)$ was chosen for isotropic case as given by

$$h_{wc}(f) = \frac{\sqrt{2B}v_{r-iso}(\tau_0 - t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |v_{r-iso}(t)|^2 dt}} \quad (13)$$

where

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

is voltage input at receiver side in isotropic case. Optimum template waveform and isotropic template waveform will present the difference between two waveform template as waveform distortion.

III. HB-UWB EXPERIMENTAL

A. The scheme of Experimental

The vector network analyzer (VNA) used to measure the product of complex transfer function between transmit antenna and receive antenna as well as transfer function in free space.

B. Experiment Model Used

The experiment was done in an anechoic chamber and used VNA to record and measure signal transfer function

(S_{21}) of the proposed measurement model. Port-1 and port-2 of VNA were assign to be the transmit port (Tx) and the receive port, respectively. Both of the VNA port were connected to transmit antenna and receive antenna with the height fixed at 1.74 m. and separated distance was set at 1 m. as shown in Fig. 2. The rotator was used to rotate the pointing angle of the receive antenna from 0 degree to 360 degree with 5 degree per each step, while the transmit antenna was fixed at 0 degree

This research considers the impulse waveform to operate in UWB. Hence, a wideband antenna for UWB was suitable. Figure 3 show the transmit antenna and receive antenna. Biconical antenna with the maximum diameter equal to 65.3 mm. [6] and length equal to 37 mm. was used as the transmit antenna and Skycross Lnc.'s meander line antenna was used as the receive antenna due to its cover UWB band, small size, and on-the-shelf [7].

C. The Parameter of Experimental Model

Table I was present the list of experiment parameter. Noted that, the cable and connector which connected with the antenna was calibrated before initiate the experimental process. Moreover, the results were including with all impairment of the characteristic of antenna.

TABLE I. PARAMETERS SETUP OF EXPERIMENTAL SYSTEM

Parameters	Value
Range of frequency	3 GHz to 11 GHz
Frequency points	1601
Range of power	80 dB
Height of Tx antenna	1.74 m
Height Rx antenna	1.74 m
Distance between Tx and Rx	1 m
Range of Rx rotate	0° to 360°
Step of Rx rotate	5°

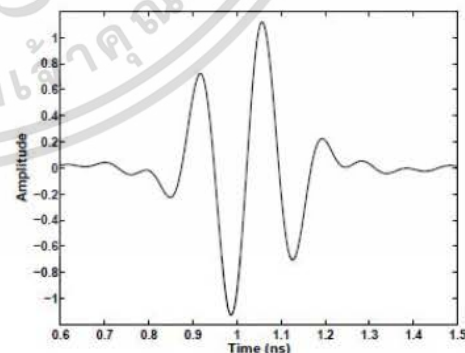


Fig. 4. The input waveform of HB-UWB transmission.

D. HB-UWB Propagation Model

UWB propagation will be affected by the distortion of the signal which is more particular as wider as the operate bandwidth. In this paper, the full band of FCC (3.1 – 10.6 GHz) is used to transmit the impulse for HB-UWB propagation. Hence the half of operate frequency was set at 6.85 GHz and the operate bandwidth was set at 7.5 GHz. A single pulse of ASK was used to assume in the simulation as the transmit waveform at carrier frequency f_0 . The length of transmit pulse was set at $2/f_b$ to achieve the requirement of the operate bandwidth. Subsequently, a Nyquist roll-off filter was used as band-limited filter with passband equal to $f_0 - f_b/2, f_0 + f_b/2$ and factor of roll-off α equal to 0. The impulse of transmitted waveform was simulated based on the antenna transfer function and the impulse is shown in Fig. 4.

IV. RESULTS AND DISCUSSION OF THE EXPERIMENT

The explanation in graphical form of the experimental results are described in this section.

The body area network signal of the channel transmission is shown in Fig. 5 and its phase is shown in Fig. 6. The characterization of the frequency is displayed very clearly at each particular degree. As the output of AUT, the antenna

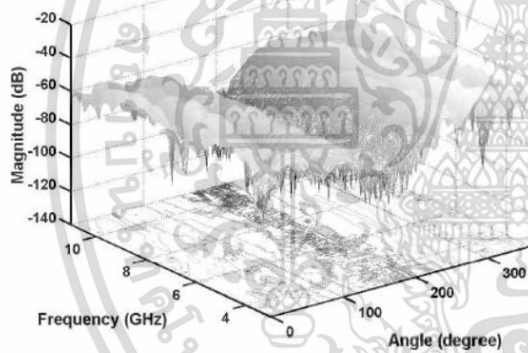


Fig. 5. The HB-UWB transfer function in magnitude.

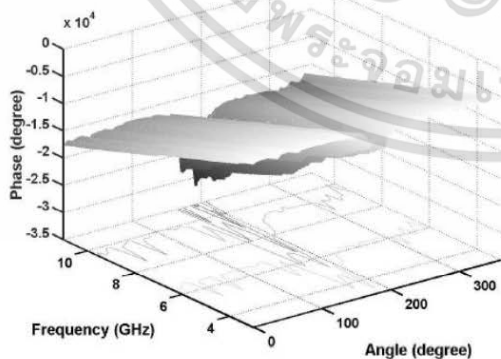


Fig. 6. The HB-UWB transfer function in phase.

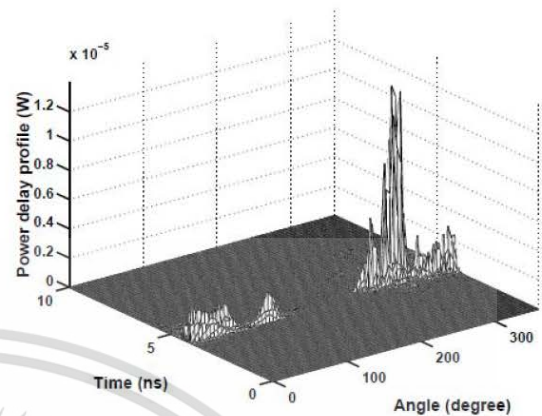


Fig. 7. The delay characteristics of the HB-UWB transmission.

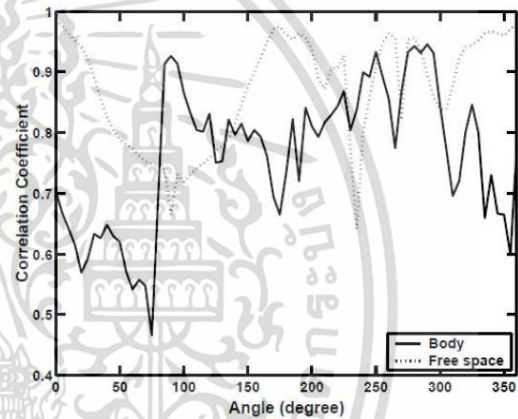


Fig. 8. The comparison of HB-UWB distortion between free space and with human body.

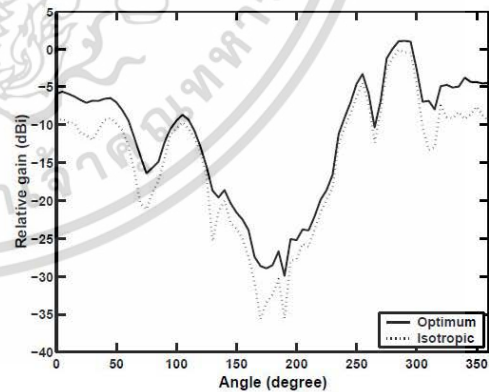


Fig. 9. The comparison of HB-UWB transmission gain between optimum and isotropic.

transmission characteristic in terms of delay with human body effect is shown in Fig. 7. The antenna channel transfer and delay characteristic can be clearly observed, showing the frequency characteristic which is affected by the human body at each pointing angle. The shadowing effects from the human

The 6th Global Wireless Summit (GWS-2018)

body on the HB-UWB channel propagation are null at 90 degrees and 270 degrees of pointing angle.

The comparison of HB-UWB distortion with free space and human body is show in Fig. 8. The distortion is higher at 0 degree to 80 degree and 330 degree to 360 degree, while the distortion is small at 90 degree to 300 degree.

Figure 9 present the relationship between HB-UWB signal gain and pointing angle in case of optimum receiver and isotropic receiver in human body. The peaks are observe at 90 degree to 270 degree and 360 degree which effect from the structure of the antenna, while the null can observe at 180 degree.

V. CONCLUSION

The waveform distortion due to human body in UWB transmission for WBAN communication been evaluated by modify the wireless transmission equation of Friis. The waveform of transmit signal and waveform model had been considered in the proposed system, the biconical antenna and meander line antenna are using in the experimental as the transmitted antenna and received antenna, respectively. The proposed method can be operating well when apply to evaluate the wearable antenna with negative value of reflection coefficient, characterization of frequency, antenna directivity, and overall HB-UWB transfer function performance can evaluate by using transmission gain. The

presented formula in this paper are present as the special case of HB-UWB communication.

REFERENCES

- [1] B. Lembrikov, *Novel Applications of the UWB Technologies*, Rijeka, InTech, pp. 1-437, 2011..
- [2] 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.
- [3] S. Promwong, W. Hachitani, and J. Takada, "Free Space Link Budget Evaluation of UWB-IR Systems," in *Proc. 2004 Int. Workshop Ultra Wideband Syst. / Conf. Ultra Wideband Syst. Tech. (Joint UWBS & IWUWBS 2004)*, Kyoto, Japan, pp. 312-316, May 2004.
- [4] H.T. Friis, "A Note on a Simple Transmission Formula," *Proc. IRE*, vol. 34, no. 5, pp. 254-256, May 1946.
- [5] P. Pagani, F. T. Talom, P. Pajusco, and B. Uguen, *Ultra-Wideband Radio Propagation Channels*, Hoboken, John Wiley & Sons, pp. 1-175, 2009..
- [6] 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.
- [7] Skycross, Inc., "3.1-10 GHz UWB Antenna for Commercial UWB Applications" <http://www.skycross.com/>
- [8] Federal Communications Commission, "Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding Ultra-Wideband Transmission Systems," *First Report and Order*, FCC 02-48, Apr. 2002.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาวชนิดาภา สงวนพวง
ที่อยู่ บ้านเลขที่ 69 ซอยรามคำแหง 26/1 ถนนรามคำแหง แขวงหัวหมาก เขตบาง
กะปิ กรุงเทพมหานคร 10240
โทร 081-768-1245

ประวัติการศึกษา

ระดับประถมศึกษา : โรงเรียนอนุตมศึกษา
ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น : โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี)
ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย : โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา
ระดับปริญญาตรี-โท : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขา
วิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า
คุณทหารลาดกระบัง

ปัจจุบัน

นักศึกษาปริญญาเอก สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เกียรติประวัติ

- ได้รับรางวัลชนะเลิศที่ 1 Miss University International 2007 ณ ประเทศเกาหลีใต้
- ได้รับรางวัลชนะเลิศ ที่ 1 Miss University Thailand 2007 ณ ประเทศไทย
- ได้รับรางวัลชนะเลิศที่ 1 Miss Talent University Thailand 2007 ณ ประเทศไทย
- ได้รับพระราชทานโล่รางวัล “เยาวชนดีเด่นแห่งชาติ” จากสมเด็จพระบรมโอรสาธิราชฯ สยามมกุฎราชกุมาร
- ได้รับโล่รางวัล “เยาวชนดีเด่นกรุงเทพมหานคร” จาก ผู้ว่าราชการกรุงเทพมหานคร
- ได้รับพระราชทานโล่รางวัลชนะเลิศที่ 1 “กุลธิดากาชาดประจำปี ๒๕๕๒-๒๕๕๓” จาก สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯสยามบรมราชกุมารี
- ได้รับคัดเลือกเป็น ตัวแทนนักศึกษาไทย ไปประชุม FISU FORUM ในหัวข้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กีฬา มหาวิทยาลัยโลก หรือ UNIVERSIADE ณ กรุง Krakow ประเทศ Poland

- ได้รับเกียรติบัตร Collegiate Ambassador For Peace จาก ประเทศเกาหลีใต้
- ได้รับเกียรติบัตร National Student Peacebuilding Corps จาก ประเทศเกาหลีใต้
- ได้รับเกียรติบัตร One Global Family Though Mutual Harmony, Trust and Respect (Sisterhood Ceremony Pact) จาก ประเทศเกาหลีใต้
- ได้รับเกียรติบัตร National Collegiate Ambassadors for Peace Sisterhood Ceremony Pact จากประเทศเกาหลีใต้
- ได้รับเกียรติบัตร Young Ambassador for Peace (Interreligious and International Federation for World Peace and Universal Peace Federation) จาก ประเทศเกาหลีใต้
- ได้รับรางวัลชนะเลิศที่ 1 ในการแข่งขันประกวดเขียนเรียงความ เรื่อง “นักศึกษาที่มีคุณงามความดีด้าน คุณธรรม จริยธรรมและส่งเสริมสนับสนุน ศิลปวัฒนธรรม” จากงาน NIDA Open House 2013
- สอบผ่านได้รับบัตรผู้ประกาศ ภาษาไทย (กลาง) จากสำนักงาน คณะกรรมการ กิจการกระจายเสียง กิจการ โทรทัศน์ และกิจการ โทรคมนาคมแห่งชาติ

- ประวัติการทำงานที่
- เป็นผู้ประกาศข่าว กับทาง สถานีวิทยุโทรทัศน์แห่งประเทศไทย NBT (ช่อง กำลังทำอยู่และที่ 11) ในช่วงช่วงเที่ยง
 - ผ่านมา (พอสังเขป) - เป็นพิธีกร รายการ Speed Revs Your Heart ออกอากาศทางช่อง Speed Channel True Vision ช่อง 691
 - เป็นพิธีกร รายการ ธรรมะสาธก ออกอากาศทางช่อง DLTV 1 , CTH และ Wisdom 9
 - เป็นพิธีกร รายการ เยาวชนคนสร้างฝัน ออกอากาศทางช่อง DLTV 1 , CTH และ Wisdom 9
 - เป็นพิธีกร รายการ รากแก้ว ศาสนทายาท ออกอากาศทางช่อง DLTV 1 , CTH และ Wisdom 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เป็นพิธีกรรายการ Z-TRU ทางช่อง Mango TV
- เป็นพิธีกรงาน “รำลึกพระมหากษัตริย์คุณพระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช องค์อัครนวัตกร”
- เป็นพิธีกรและนักร้องรับเชิญในงาน “คอนเสิร์ตสำแดงสดเพลงเมืองสุพรรณ” โดยเป็นพิธีกร และ นักร้องรับเชิญ ถ่ายทอดบทเพลงของคุณพุ่มพวง ดวงจันทร์ ณ โรงละครแห่งชาติภาคตะวันตก จังหวัดสุพรรณบุรี
- เป็นนักร้องรับเชิญในงาน รื่นรมย์ชมคอนเสิร์ต “60 ปี ไททศน์ไทยกับ อารีย์ นักดนตรี และเพื่อนชาว ที.วี. ช่อง 4-9” ณ โรงละครแห่งชาติ (สนามหลวง)
- เป็นพิธีกรและเป็นนักร้องรับเชิญ งานคอนเสิร์ตการกุศล Symphonic Charity Concert “ต.อ. บ้านแห่งรัก” ณ หอประชุมใหญ่ ศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทย
- เป็นพิธีกรสองภาษา (ไทย-อังกฤษ) ในงาน Grand Opening International Engineering Programs KMITL และ เป็นพิธีกรในช่วงเสวนา ในหัวข้อ “บันชีวิศวกรรมอินเทอร์เน็ต 4.0และโลกที่น่าอยู่”
- เป็นพิธีกรในงาน วิศวกรรม 59 Engineering Expo 2016 Innovation with your digital life ในช่วงเสวนา “รวมพลัง อดุคศึกษาไทยขับเคลื่อนไทยแลนด์ 4.0”
- เป็นพิธีกรภาษาอังกฤษ ในงาน โครงการพลังงานและเทคโนโลยีที่ยั่งยืน เอเชีย” หรือ Sustainable Energy & Technology Asia (SETA) ในส่วนของกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยนำเสนอ นวัตกรรมต่าง ๆ ที่เป็นผลงานของกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
- เป็นพิธีกรงานแถลงข่าว CMKL กับบทบาทสำคัญในการขับเคลื่อนเทคโนโลยีและพัฒนาเศรษฐกิจไทยให้ยั่งยืน (CMKL Thailand World Class Partnership) : Press Conference
- เป็นพิธีกรงานแถลงข่าว “สจล. กฟภ. กสท. สู่นวัตกรรม Triple Smarts สู่อการพัฒนาประเทศไทยสู่สังคมแห่ง นวัตกรรมที่ยั่งยืน พร้อมทั้งพิธีการลงนามข้อตกลงด้านวิชาการร่วมกันว่าด้วยเรื่อง “โครงการความร่วมมือด้านโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ เทคโนโลยีสื่อสาร และเทคโนโลยีสารสนเทศ” ณ โรงแรมสวิสโซเทล เลอ คองคอร์ด
- เป็นพิธีกรงานแถลงข่าว “งานคืนสู่เหย้า 78 ปี ต.อ.บ้านแห่งรัก”
- เป็นพิธีกรงาน “คืนสู่เหย้า 78 ปี ต.อ.บ้านแห่งรัก”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เป็นพิธีกรงานแถลงข่าว “การแข่งขันเดิน-วิ่งการกุศล ครั้งที่ 14 ต.อ.บ้านแห่งรัก”
- เป็นพิธีกรงาน “แข่งขันเดิน-วิ่งการกุศล ครั้งที่ 14 ต.อ.บ้านแห่งรัก”
- เป็นพิธีกรงาน “โบว์ลิ่งสัมพันธ์ บดินทรเดชา ครั้งที่ 5 และครั้งที่ 6”
- เป็นพิธีกรงานสัมมนาวิชาการด้านการวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์พิเศษเพื่อสนับสนุนการสืบสวนสอบสวน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2557 หรือ Innovation for Crime Combating Conference and Contest 2014 (I4C 2014)
- เป็นพิธีกรงานเชิดชูเกียรติ 50 ศิษย์เก่าเกียรติยศ 5 ทศวรรษ พระจอมเกล้าลาดกระบัง ณ ศูนย์ประชุม ไบเทค บางนา
- เป็นพิธีกรงาน “เดิน-วิ่งเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา มหาราชินีการกุศล” (เดิน-วิ่งการกุศล สนตอ ครั้งที่ 12) ณ โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา และจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- เป็น ประธานโครงการ Open House คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ในงาน 50 ปี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- เป็นประธานโครงการ One World Unlimited ร่วมกับเพื่อน ๆ นักศึกษา คณะต่าง ๆ โดย ไปสอน-ให้ความรู้ – จัดกิจกรรม บริจาค สิ่งของเครื่องใช้ อุปกรณ์การเรียน สื่อการสอน แก่น้อง ๆ ยากไร้ โดยประสานงานรับของบริจาค จากรุ่นพี่ และเพื่อน ๆ ณ โรงเรียนวัดภาษี และ วัดภาษี เอกมัย กรุงเทพฯ (โดยติดต่อประสานงานกับ ครู-อาจารย์ของโรงเรียน และ เจ้าอาวาส พระภิกษุ ของวัด)
- เป็นพิธีกร และช่วยงาน การประชุมสัมมนาปฏิบัติการ เรื่อง “การสำรวจความต้องการ และ ความคิดเห็นใน การนำเทคโนโลยี RFID มาใช้ในระบบลำเลียงกระเป๋าสัมภาระ ของท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ” จัดโดย บริษัท ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ จำกัด มหาชน และ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- เป็นพิธีกร และช่วยงาน การประชุมสัมมนาปฏิบัติกร เรื่อง “การสำรวจความต้องการ และ ความคิดเห็นใน การนำเทคโนโลยี RFID มาใช้ในระบบลำเลียงกระเป๋าสัมภาระ ของท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ” จัดโดย บริษัท ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ จำกัด มหาชน และ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังและ ม.มหิดล)
- พิธีกรงาน Building Smarter Futures for Thailand 4.0
- พิธีกรงาน Partnership for Smart and Sustainable Futures By

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CMKL University, Thailand

- เป็นนักกีฬายิงปืนของสถาบันฯ เข้าร่วมแข่งขัน กีฬามหาวิทยาลัย กีฬาอุดมศึกษา กีฬายิงปืนเฟรชชี เป็นต้น
- ได้รับรางวัลชนะเลิศ ที่ 1 การประกวดร้องเพลงสากล ในงาน KMITL MUSIC AWARD สองปีซ้อน (ตอนเรียนปริญญาตรีชั้นปีที่ 1 และปีที่ 2)
- พิธีกร งานสัมมนาชี้แจงรายละเอียดโครงการ และฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ การพัฒนาการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โครงการพัฒนาการผลิตและผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม ประจำปีงบประมาณ 2560
- พิธีกร การสัมมนาโครงการ “งานกำกับดูแลและส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ตามกฎหมายสำหรับโรงงานควบคุม” สนับสนุนโดย กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน
- พิธีกรงาน ICSEC ²⁰¹⁷ (The 21st International Computer Science and Engineering Conference 2017)
- เป็นพิธีกร และ ร้องเพลง ในงานต่าง ๆ เช่น งานแต่งงาน งานเลี้ยงสังสรรค์ งาน Reunion คิซย์เก่า งานประชุมสัมมนา งานวันลอยกระทง งานปีใหม่ งานวันเกิด งานเกษียณอายุ ฯลฯ
- เป็นพิธีกรภาคภาษาไทย-ภาษาอังกฤษ ให้หน่วยงานภาครัฐและเอกชน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้