

การประเมินผลทดลองวัดของรูปคลื่นส่งผ่านแถบกว้างยิ่ง
โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์

EXPERIMENTAL EVALUATION OF BODY AREA
NETWORK – ULTRA WIDEBAND TRANSMISSION WAVEFORM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2559
KMITL-2016-EN-D-018-186

การประเมินผลทดลองวัดของรูปคลื่นส่งผ่านแถบกว้างยิ่ง
โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์

EXPERIMENTAL EVALUATION OF BODY AREA
NETWORK – ULTRA WIDEBAND TRANSMISSION WAVEFORM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2559
KMITL-2016-EN-D-018-186

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EXPERIMENTAL EVALUATION OF BODY AREA
NETWORK - ULTRA WIDEBAND TRANSMISSION WAVEFORM



SANIT TEAWCHIM

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
DOCTORAL OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2016
KMITL-2016-EN-D-018-186

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2016

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การประเมินผลทดลองวัดของรูปคลื่นส่งผ่านแถบกว้างยิ่งโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์
Thesis Title Experimental Evaluation of Body Area Network – Ultra Wideband Transmission Waveform
นักศึกษา นายสนธิ เตียวฉิม
รหัสประจำตัว 53610152
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.สถาพร พรหมวงศ์
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2016-EN-D-018-186

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ชวงค์	พงศ์เจริญพาณิชย์	
ผศ.ดร.สุทธิชัย	นพนาศิพงษ์	
รศ.ดร.ลัญฉกร	วุฒิสัทติกุลกิจ	
ผศ.ดร.พิชญ	สุพรรณกุล	
ดร.สถาพร	พรหมวงศ์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพฤหัสบดีที่ 6 ตุลาคม พ.ศ. 2559 เวลา 09.00-11.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 1

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

ฉบับนี้ คณะวิศวกรรมศาสตร์
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
วันที่ 6 ตุลาคม พ.ศ. 2559
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินผลทดลองวัดของรูปคลื่นส่งผ่านแถบกว้างยิ่ง โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์
นักศึกษา	นายสนธิ เตียวฉิม
รหัสประจำตัว	53610152
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2559
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร. สถาพร พรหมวงศ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการประเมินผลแบบจำลองช่องสัญญาณการวัดและการประเมินประสิทธิภาพของระบบแถบกว้างยิ่งบนโครงข่ายพื้นที่ไร้สายบนร่างกายมนุษย์ เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของการแพร่กระจายคลื่นบนร่างกายมนุษย์ โดยใช้วิธีการประเมินการสูญเสียเชิงวิถีของช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งบนโครงข่ายพื้นที่ไร้สายบนร่างกายมนุษย์ ด้วยสเกลขนาดเล็กและขนาดใหญ่ และใช้ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานการวิเคราะห์ระบบแถบกว้างยิ่ง โดยพิจารณาใช้รูปคลื่นใช้รากที่สองของโรสโคชาน์เป็นสัญญาณส่ง สำหรับการทดลองวัดของสัญญาณฟังก์ชันการส่งผ่านช่องสัญญาณบนร่างกายมนุษย์ได้ทำการวัดตามมาตรฐาน IEEE802.15.6 ที่ช่วงความถี่ 3.25 กิกะเฮิร์ต ถึง 4.75 กิกะเฮิร์ต ด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์และได้ทำการทดลองวัดบนร่างกาย ทั้งยังมีการแบ่งแยกแบบจำลองด้วยดัชนีมวลกายอีกด้วย ผลการทดลองที่ได้ถูกพิจารณาเป็นแบบจำลองต่างๆ เช่นการหาค่าการสูญเสียเชิงวิถีและความผิดเพี้ยน โดยใช้แบบจำลองรีเกรสชัน แบบจำลองการจางหายหลายวิถี และแบบจำลองทางสถิติในการอธิบายกลุ่มตัวอย่างการวัด ซึ่งผลการทดลองวิจัยนี้สามารถเป็นพื้นฐานและนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการพัฒนา และออกแบบระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งบนร่างกายมนุษย์และยังเป็นพื้นฐานสำหรับการออกแบบระบบฝังตัวรวมถึงระบบการรับส่งสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Experimental Evaluation of Body Area Network – Ultra Wideband Transmission Waveform
Student	Mr. Sanit Teawchim
Student ID	53610152
Degree	Doctoral of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2016
Thesis Advisor	Dr. Sathaporn Promwong

ABSTRACT

This thesis presents an evaluation model channel measuring and evaluating the effectiveness of the body area network ultra wideband transmission waveform. To study the effects of propagation on the human body. Path loss model with small and large scales use to analyze wireless body area network channel. Friis' transmission formula to analyze the data from measurements. The root raise cosine passband waveform is used as transmitted signal. The body channel transfer functions are measured by using vector network analyzer (VNA) a standard IEEE802.15.6 frequency range 3.25 GHz to 4.75 GHz. The path losses based on average and peak power losses are evaluated. The linear regression model, the multipath fading model and statistical model are used to characterize the channel parameters. The results can be useful to develop and design the UWB system on body area network. These are useful as the basis for the design of the embedded system, transceiver system.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ดร.สถาพร พรหมวงศ์ ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยชี้แนะแนวทางการศึกษาวิจัยให้แก่ผู้เขียนอย่างดีมาโดยตลอด ทั้งยังห่วงใยคอยสอบถามปัญหาของงานวิจัยตลอดมาและคอยดูแลผู้เขียนเป็นอย่างดี ให้ความอนุเคราะห์ความรู้ต่างๆ คอยเสนอแนะการนำเสนองานวิจัยอย่างดีเยี่ยม ทำให้ผู้เขียนมีความรู้และสามารถนำเสนองานวิจัยได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนมีความซาบซึ้งใจอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ ผศ. ดร.พิชญ์ สุพรรณกุล ที่ได้ให้ข้อเสนอแนะและคำแนะนำในการทำวิจัยจนผู้เขียนสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยได้เป็นอย่างดี

ผู้เขียนขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังซึ่งได้สนับสนุนทุนยกเว้นค่าเล่าเรียนมาโดยตลอดทุกภาคเรียนและอนุญาตให้สามารถลาเรียนได้

ผู้เขียนขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมพี่ๆ น้องๆ สมาชิกห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีอิมพัลส์แถบกว้างยิ่งของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยช่วยเหลือในการทดลองวัดและวิจัยซึ่งเป็นที่มาของข้อมูลในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และคอยให้ข้อเสนอแนะ และคอยสอบถามถึงความคืบหน้าของงานวิจัยจนงานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ท้ายที่สุดนี้ ผู้เขียนขอน้อมรำลึกถึงอำนาจของพระองค์คุณของพระศรีรัตนตรัยและสิ่งศักดิ์สิทธิ์ทั้งหลายในสากลโลก คุณความดีของบิดา มารดา คณาจารย์ทุกท่านผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และผู้ที่ยกย่องสนับสนุนตลอดจนผู้เขียนตำราและบทความต่างๆ ที่ทำให้ผู้เขียนมีความรู้ในการเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าจึงขอยกคุณความดีเหล่านั้นขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

สนธิ เตียวฉิม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ1	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	3
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	4
บทที่ 2 เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายแบบแถบกว้างยิ่งและโครงข่ายพื้นที่ไร้สายบนร่างกายมนุษย์..5	
2.1 กล่าวนำ.....	5
2.2 ประวัติความเป็นมาของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง.....	5
2.3 หลักการพื้นฐานของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง.....	7
2.4 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง.....	9
2.5 จุดเด่นของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	11
2.5.1 มีความจุช่องสัญญาณมาก.....	11
2.5.2 ใช้กำลังในการส่งต่ำ.....	12
2.5.3 มีโอกาสถูกดักฟังหรือตรวจจับได้ยาก.....	12
2.5.4 มีความต้านทานจากการถูกรบกวนสัญญาณ.....	12
2.5.5 มีโครงสร้างราคาถูกและไม่ซับซ้อน.....	12
2.5.6 มีความต้านทานต่อคลื่นหลายวิถี.....	13
2.5.7 มีความละเอียดในโดเมนเวลาสูง.....	14
2.6 ข้อกำหนดของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	15
2.7 มาตรฐานของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	17
2.7.1 มาตรฐาน IEEE 802.15.3a.....	17
2.7.2 มาตรฐาน IEEE 802.15.4a.....	17
2.7.3 มาตรฐาน IEEE 802.15.6.....	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตีพิมพ์อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.8 การประยุกต์ใช้งานของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง	18
2.8.1 การประยุกต์ใช้งานเครือข่ายภายในอาคารสำนักงาน	18
2.8.2 การประยุกต์ใช้งานเครือข่ายภายในที่พิกอาศัย	18
2.8.3 การประยุกต์ใช้งานกับโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์	18
2.8.4 การประยุกต์ใช้งานในการค้นหาตำแหน่ง	19
2.9 โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์	19
2.10 นิยามและข้อกำหนดของโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์	20
2.10.1 นิยามของโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์	21
2.10.2 ข้อกำหนดของโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์	22
2.11 กฎข้อบังคับสำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์	22
2.11.1 Medical Implanted Communication Service (MICS)	23
2.11.2 Industrial Scientific and Medical (ISM)	23
2.11.3 Wireless Medical Telemetry Services (WMTS)	23
2.11.4 Ultra Wide-Band (UWB)	23
2.12 แบบจำลองช่องสัญญาณสำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์	24
2.13 การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์	26
2.14 สรุป	28
บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ระบบการสื่อสาร UWB	29
3.1 กล่าวนำ	29
3.2 แบบแผนการทดลอง	29
3.3 สัญญาณต้นแบบที่ใช้ในการวิเคราะห์	29
3.3.1 สัญญาณรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม	31
3.3.2 สัญญาณรูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของไรซ์ไคชานน์	31
3.4 แบบจำลองการสูญเสียเชิงวิถี	32
3.5 แบบจำลองรีเกรสชันเชิง	33
3.6 แบบจำลองการจางหายหลายวิถี	34
3.7 แบบจำลองเชิงสถิติ	34
3.7.1 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น	34
3.7.2 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม	35
3.8 การประวิงกำลังงานของช่องสัญญาณ	35
3.9 การเฉลี่ยของเวลาประวิงและการแผ่เวลาประวิง	36
3.8 บทสรุป	36
บทที่ 4 การวัดและขั้นตอนการทดลอง	37
4.1 กล่าวนำ	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2	แบบแผนการทดลองวิจัย.....	37
4.2.1	ฟังก์ชันถ่ายโอนของสายอากาศและรูปแบบของการวัด.....	37
4.2.2	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองวิจัย.....	39
4.2.2.1	เครื่องวิเคราะห์โครมข่ายแบบเวกเตอร์.....	39
4.2.2.2	สายอากาศที่ใช้ในการทดลองวิจัย.....	40
4.2.4	พารามิเตอร์สำหรับการทดลองวิจัย.....	41
4.3	รูปคลื่นสัญญาณต้นแบบที่ใช้ในการสังเคราะห์.....	43
4.3.1	สัญญาณรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม.....	43
4.3.2	สัญญาณรูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของโรซโคซายน์.....	43
4.3	บทสรุป.....	46
บทที่ 5	ผลการทดลองวิจัยและวิเคราะห์สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง.....	47
5.1	กล่าวนำ.....	47
5.2	ผลการทดลองวิจัย.....	47
5.2.1	แบบจำลองการสูญเสียเชิงวิถี.....	47
5.2.2	การประวิงกำลังงานของช่องสัญญาณ.....	51
5.2.3	การเฉลี่ยของเวลาประวิงและการแผ่เวลาประวิง.....	54
5.2.4	ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม.....	55
5.3	บทสรุป.....	58
บทที่ 6	สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	60
6.1	กล่าวนำ.....	60
6.2	ผลของการศึกษาทดลอง.....	60
6.3	ข้อเสนอแนะและแนวทางวิจัยต่อไปในอนาคต.....	61
เอกสารอ้างอิง	61
บรรณานุกรม	61
ภาคผนวก ก.	บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวิทยานิพนธ์.....	65
ประวัติผู้เขียน	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และตีพิมพ์อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 จุดเด่นและประโยชน์ของการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง	15
2.2 การจำกัดการแพร่กระจายความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานสำหรับการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย FCC	17
2.3 ความถี่ใช้งานสำหรับ WBAN และ WPAN ที่ยังไม่มีใบอนุญาต	21
2.4 ช่วงความถี่สำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์	23
2.5 รูปแบบการสื่อสารไร้สายบนร่างกายมนุษย์	23
4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัดคุณลักษณะฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศ	42
4.2 ลักษณะร่างกายของแบบจำลองเพศชาย	42
4.3 ลักษณะร่างกายของแบบจำลองเพศหญิง	43
5.1 ค่าสูญเสียเชิงวิถี	48
5.2 ค่ายกกำลังการสูญเสีย	48
5.3 ค่ายกกำลังการสูญเสียเชิงวิถีกรณีใช้ค่าดัชนีมวลกาย	48
5.4 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของรูปคลื่นสัญญาณส่ง	55
5.5 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแบบจำลอง	55
6.1 ผลการทดลองวิจัย	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VII อังอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ภาพรวมการประมวลผลแบบจำลองโครงข่ายพื้นที่ไร้สายบนร่างกาย.....	3
2.1 ความเป็นมาโดยย่อของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง	7
2.2 สัญญาณแถบแคบ (a) โดเมนเวลา (b) โดเมนความถี่	8
2.3 สัญญาณแถบกว้างยิ่ง (a) โดเมนทางเวลาและ (b) โดเมนความถี่.....	8
2.4 เปรียบเทียบสเปกตรัมระหว่างแถบกว้างยิ่งและแถบความถี่อื่นๆ	9
2.5 หลักการพิจารณาสัญญาณแถบกว้างยิ่ง	10
2.6 ลักษณะของสัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียน a โดเมนเวลา b โดเมนความถี่	11
2.7 เปรียบเทียบโครงสร้างระบบแถบกว้างยิ่งกับระบบแถบแคบ	13
2.8 ผลของช่องสัญญาณหลายวิถีในระบบแถบแคบและแถบกว้างยิ่ง	14
2.9 สเปกตรัมมาร์คสำหรับการจำกัดการแพร่กระจายความหนาแน่นแถบกำลังงานสำหรับการสื่อสารภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย FCC	16
2.10 การนำเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานเครือข่ายบนร่างกายมนุษย์.....	18
2.11 การเชื่อมต่อโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์กับโครงข่ายภายนอก	19
2.12 เปรียบเทียบระยะเวลาการสื่อสารของเทคโนโลยีไร้สาย	20
2.13 ช่วงความถี่สำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์.....	23
2.14 รูปแบบการสื่อสารสำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์.....	25
2.15 การนำเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานโครงข่ายบนร่างกาย	26
2.16 ลักษณะการประยุกต์ในการช่วยเหลือผู้พิการทางสายตา	27
3.1 บล็อกไดอะแกรมสำหรับการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์จากการทดลอง	29
4.1 บล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการทดลองวัด.....	37
4.2 ตำแหน่งการวางสายอากาศบนร่างกายที่ทำการทดลอง	38
4.3 แบบจำลองการติดตั้งเครื่องมือสำหรับการทดลองวัด	38
4.4 การติดตั้งเครื่องมือสำหรับการทดลองวัด.....	39
4.5 ชุดเครื่องวัดวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์.....	40
4.6 โครงสร้างและขนาดของสายอากาศแบบเส้นตัวนำกลาง	41
4.7 คุณสมบัติ S_{11} ของสายอากาศเส้นคดตัวนำกลาง.....	41
4.8 รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมที่ถูกลนอร์มัลไลซ์เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คของ FCC	44
4.9 ความหนาแน่นสเปกตรัมที่ถูกลนอร์มัลไลซ์ของรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์ค FCC.....	44
4.10 รูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของไรซ์โคชาน์ที่ถูกลนอร์มัลไลซ์เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คของ FCC	45
4.11 ความหนาแน่นสเปกตรัมที่ถูกลนอร์มัลไลซ์ของรูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของไรซ์โคชาน์ที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์ค FCC.....	45
5.1 แบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นของสัญญาณรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม.....	47
5.2 แบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นของสัญญาณรูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของไรซ์โคชาน์.....	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VIII อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.3 แบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นของแบบจำลองบุคคลผอม.....	49
5.4 แบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นของแบบจำลองบุคคลปกติ.....	49
5.5 แบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นของแบบจำลองบุคคลอ้วน.....	50
5.6 ตำแหน่งต่างๆบนร่างกายที่ได้ทำการทดสอบ.....	50
5.7 ค่าการประวิงกำลังงานของบุคคลผอม.....	52
5.8 ค่าการประวิงกำลังงานของบุคคลปกติ.....	52
5.9 ค่าการประวิงกำลังงานของบุคคลอ้วน.....	53
5.10 เปรียบเทียบค่าการเฉลี่ยของการประวิงกับการแผ่เวลาประวิงแบบจำลองบุคคลผอม.....	54
5.11 เปรียบเทียบค่าการเฉลี่ยของการประวิงกับการแผ่เวลาประวิงแบบจำลองบุคคลปกติ.....	55
5.12 เปรียบเทียบค่าการเฉลี่ยของการประวิงกับการแผ่เวลาประวิงแบบจำลองบุคคลอ้วน.....	55
5.13 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม.....	56
5.14 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของรูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของไรซ์โคชาน์.....	56
5.15 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของคนลักษณะผอม.....	57
5.16 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของคนลักษณะปกติ.....	57
5.17 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของคนลักษณะอ้วน.....	58

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันด้วยอัตราประชากรที่เพิ่มขึ้นถึงกว่าเจ็ดพันล้านคนและด้วยความก้าวหน้าของเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายที่มีการประยุกต์ใช้ การสื่อสารไร้สายความเร็วสูง โครงข่ายไร้สายพิสัยใกล้ และพิสัยไกล รวมทั้งทางการแพทย์ เป็นต้น จึงทำให้ประชากรโดยเฉลี่ยมีอายุยืนยาวขึ้น ซึ่งหลายประเทศในประเทศพัฒนาและกำลังพัฒนา มีประชากรผู้สูงอายุ [1] มากขึ้น ซึ่งทำให้เป็นที่มาของการสรรคหาและประยุกต์ใช้เทคโนโลยีต่างๆ เพื่อมาอำนวยความสะดวกมากยิ่งขึ้น เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่มีอยู่เดิมเช่นโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลไร้สาย (Wireless Personal Area Network: WPAN) โครงข่ายพื้นที่ท้องถิ่นแบบไร้สาย (Wireless Local Area Network: WLAN) โครงข่ายงานบริเวณกว้าง (Wide Area Network: WAN) รวมไปถึงการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์แบบอื่นๆ อีกทั้งมีการพัฒนาในเรื่องของอัตราเร็วในการส่งข้อมูล จำนวนข้อมูลที่สามารถส่งได้ จำนวนของผู้ใช้งานในระบบ ระยะทางที่สามารถส่งได้ และความสามารถในการทำงานร่วมกันได้ การเชื่อมต่อภายในอาคารสำนักงาน หรือการเชื่อมต่อเครือข่ายเพื่อความบันเทิงในแหล่งที่พักอาศัย ซึ่งต่อมาได้มีการนำเทคโนโลยีไร้สายเหล่านี้มาประยุกต์ใช้งานบนมาตรฐานใหม่ที่เรียกว่า โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ (Wireless Body Area Network : WBAN)

โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ เป็นการประยุกต์เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายมาใช้อยู่บนร่างกาย ซึ่งช่วยให้อำนวยความสะดวกแก่มนุษย์ได้มากยิ่งขึ้น โดยได้ถูกคาดหวังมาใช้ในการบริการด้านสุขภาพ ทางกายภาพระยะไกล การสื่อสารระยะไกล และทางด้านมัลติมีเดีย ดังนั้นหลายหน่วยงานทั้งภาครัฐและภาคเอกชนจึงให้ความสำคัญต่อการพัฒนาเทคโนโลยี เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานในด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น ในการเชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ เข้าด้วยกัน เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการใช้งานสูงขึ้น ทั้งมีการพัฒนาการเชื่อมต่อระหว่างเครือข่ายด้วยกัน

โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ ในปัจจุบันระบบการสื่อสารไร้สายแบบหลายสื่อได้เข้ามามีบทบาทเพิ่มมากขึ้น ซึ่งระบบการสื่อสารแบบนี้จำเป็นจะต้องอาศัยเทคโนโลยีที่มีอัตราการรับส่งข้อมูลสูง สามารถส่งข้อมูลได้ในปริมาณมาก และใช้ระดับกำลังงานในการส่งต่ำ ซึ่งจะช่วยให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่และปลอดภัยต่อร่างกายมนุษย์ จากความต้องการทั้งหลายนี้จึงทำให้มีการพัฒนาระบบการสื่อสารไร้สายเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้งาน นั่นคือการมุ่งพัฒนาการสื่อสารโดยใช้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง ซึ่งเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารที่แตกต่างจากเทคโนโลยีไร้สายในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นไวไฟ (Wi-Fi) หรือบลูทูธ (Bluetooth) ที่เป็นการส่งผ่านคลื่นวิทยุความถี่แคบ ขณะที่เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง (Ultra wideband: UWB) จะเป็นการส่งผ่านข้อมูลด้วยสัญญาณแบบพัลส์ (Pulse) สั้นๆ ที่ผ่านคลื่นวิทยุความถี่กว้าง เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งได้รับการกำหนดให้อยู่ในมาตรฐาน IEEE 802.15.3a โดยมีย่านความถี่ที่ถูกกำหนดโดย คณะกรรมการบริหารความถี่ของสหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission; FCC) [2] อยู่ที่ 3.1 ถึง 10.6 GHz ซึ่งเป็นย่านความถี่เดียวกันกับการสื่อสารผ่านดาวเทียม สำหรับการสื่อสารไมโครเวฟ เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง ได้กลายเป็นหัวข้อสำคัญในการวิจัย เนื่องจากเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่ได้รับความเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนใจมาก ด้วยเพราะเทคโนโลยีแถบกว้างยังมีแบนด์วิดท์กว้างและใช้กำลังงานส่งระดับต่ำ จึงเหมาะสมสำหรับการนำไปพัฒนาระบบไร้สายแบบแถบกว้างทั้งในปัจจุบันและอนาคต อีกทั้งยังสามารถประยุกต์ใช้ในระบบสื่อสารต่างๆ ได้มากมาย [3]-[4]

ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาและทำการทดลองวัดโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ เนื่องจากการนำเทคโนโลยีไร้สายมาใช้งานบนร่างกายมนุษย์นั้น ทำให้ร่างกายมนุษย์เสมือนเป็นสายสัญญาณในการรับส่งข้อมูลหรือเป็นการสื่อสารผ่านร่างกายมนุษย์นั่นเอง ซึ่งร่างกายมนุษย์เป็นสภาวะแวดล้อมแบบใหม่ที่แตกต่างจากการวิเคราะห์โครงข่ายไร้สายที่ใช้งานภายในอาคารและภายนอกอาคารทั่วไป เพราะร่างกายมีโครงสร้างที่ซับซ้อน มีส่วนประกอบที่เป็นมวลกระดูก กล้ามเนื้อ ไขมัน เป็นต้น ซึ่งเป็นเรื่องยากที่จะทำการคาดคะเนการแพร่กระจายของคลื่นบนร่างกาย [5-8] ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษา โดยมีการเชื่อมต่อกันระหว่างอุปกรณ์ส่งและอุปกรณ์รับส่งสัญญาณผ่านช่องสัญญาณบนร่างกายมนุษย์ที่สภาวะแวดล้อมภายในอาคาร มีการกำหนดจุดการวางตำแหน่งของสายอากาศจำนวน 10 ตำแหน่ง [9] บนร่างกายมนุษย์ และยังมีการแบบจำลองโดยแบ่งเป็นแต่ละกรณีตามค่าดัชนีมวลกาย (Body Mass Index: BMI) เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของการแพร่กระจายคลื่นโดยพิจารณาพารามิเตอร์ผลการทดลอง เช่น การสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss) ที่แตกต่างกันและเกิดการจางหายหลายวิถีของสัญญาณ ผลการทดลองที่ได้สามารถทำการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์สำหรับการประยุกต์ใช้งานจริงได้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ปัจจุบันมีการต้องการในการประยุกต์ใช้งานโครงข่ายไร้สายเพื่อสนับสนุนการใช้งานกับการประยุกต์ใช้งานบนร่างกายมนุษย์ เช่นการประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ เซนเซอร์ขนาดเล็กบนร่างกาย และด้านมัลติมีเดีย เทคโนโลยีแถบกว้างยังเป็นอีกหนึ่งเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่ได้รับความสนใจอย่างยิ่งสำหรับการนำมาประยุกต์ใช้ ด้วยข้อดีหลายประการ เช่น ใช้ระดับกำลังงานในการส่งต่ำ อัตราการส่งข้อมูลสูง ซึ่งการที่จะสามารถใช้งานได้ต้องมีประสิทธิภาพนั้นจำเป็นต้องศึกษาการแพร่กระจายของคลื่นบนร่างกายมนุษย์ เนื่องจากร่างกายมนุษย์มีโครงสร้างและส่วนประกอบที่ซับซ้อนอันอาจส่งผลกระทบต่อการแพร่กระจายคลื่นและประสิทธิภาพในการส่งผ่าน

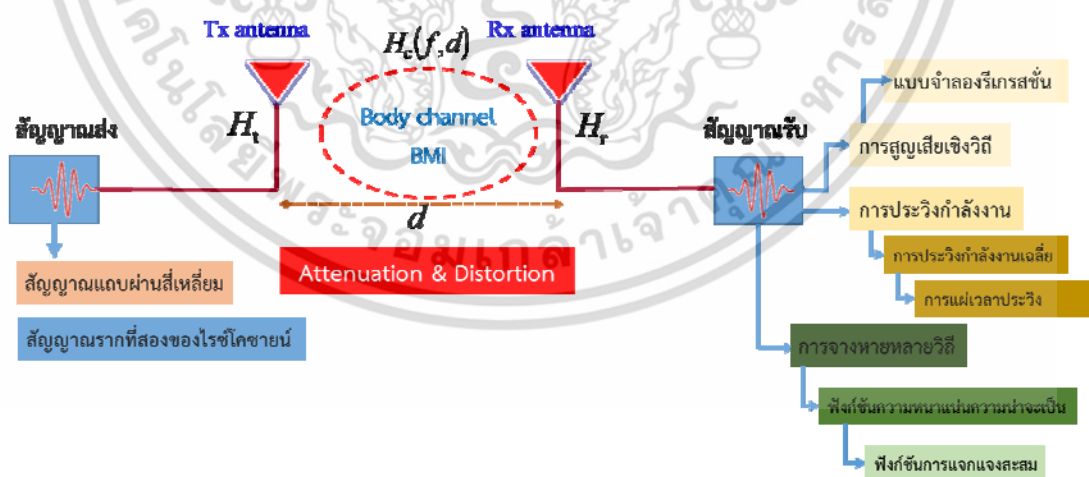
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการประเมินผลการทดลองวัดของรูปคลื่นส่งผ่านแถบกว้างยิงโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ โดยศึกษาการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีแถบกว้างยิงในโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ในช่วงย่านความถี่ 3.25 GHz ถึง 4.75 GHz ตามมาตรฐาน IEEE802.15 Task Group 6 และทำการประเมินผลประสิทธิภาพของแบบจำลองช่องสัญญาณการส่งผ่านบนร่างกายมนุษย์ โดยพิจารณาสัญญาณรูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของไรซ์โคซายน์ใช้เป็นสัญญาณส่ง เปรียบการสูญเสียเชิงวิถีในรูปแบบของการจำลองรีเกรสชันเชิงเส้น การจางหายสัญญาณที่ส่งมาจากหลายวิถี และผลการจำลองการวัดในแต่ละกรณี ด้วยการพิจารณาแบ่งขนาดของแบบจำลองด้วยดัชนีมวลกาย เพื่อศึกษาคุณลักษณะขนาดร่างกายที่มีความแตกต่างกันตามค่าดัชนีมวลกายถึงผลกระทบที่มีต่อการส่งผ่านของรูปคลื่นส่งผ่านแถบกว้างยิงโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

จากการศึกษาค้นคว้าและวิจัยเกี่ยวกับการประเมินผลการทดลองวัดของรูปคลื่นส่งผ่านแถบกว้างยิ่งยวดไปยังโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ การแพร่กระจายคลื่นบนร่างกายมีปัจจัยหลายอย่างที่จะต้องพิจารณา เนื่องจากร่างกายของแต่ละบุคคลมีความแตกต่างกันและเป็นสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างจากการใช้งานกันโดยทั่วไป จากงานวิจัย [10-13] ที่มีการศึกษากลุ่มตัวอย่างและทำการทดลองยังมีกลุ่มตัวอย่างที่น้อย ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทำการทดลองวัดแบบจำลองที่ได้กำหนดไว้เพื่อศึกษาแบบจำลองการสูญเสียเชิงวิถี แบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้น แบบจำลองการจางหายหลายวิถี และการประวิงเวลา เพื่อที่สามารถสามารถแสดงค่าใช้เชิงสถิติ โดยใช้การแบ่งแยกแบบจำลองด้วยดัชนีมวลกายที่ต่างกัน และสามารถนำแบบจำลองเหล่านี้ไปประยุกต์ใช้กับระบบสื่อสารแถบกว้างยิ่งยวดโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ ในสภาพแวดล้อมภายในอาคารได้

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาแบบจำลองการสูญเสียเชิงวิถี แบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้น แบบจำลองการจางหายหลายวิถี และแบบจำลองเชิงสถิติ ของช่องสัญญาณการส่งผ่านบนร่างกายมนุษย์ในระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งยวด โดยใช้สัญญาณส่งที่เป็นไปตามมาตรฐานของโครงข่ายพื้นที่ไร้สายบนร่างกายตามนิยามของสัญญาณส่ง ที่สามารถพิจารณาในช่วงความถี่ที่กว้างสำหรับการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งยวด โดยทำการวัดตามกรณีของร่างกายมนุษย์ที่จำแนกตามการคำนวณจากค่าดัชนีมวลกาย จากนั้นหาค่าการสูญเสียเชิงวิถี รีเกรสชันเชิงเส้น การจางหายหลายวิถีและค่าทางสถิติ เพื่อวิเคราะห์แบบจำลองที่ทำการศึกษา



รูปที่ 1.1 ภาพรวมการประมวลผลแบบจำลองโครงข่ายพื้นที่ไร้สายบนร่างกาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ขอบเขตการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ทำการศึกษาการประเมินทดลองวัดรูปคลื่นการส่งผ่านระบบสื่อสาร แถบกว้างยิ่งยวดโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ โดยทำการออกแบบและทดลองวัดช่องสัญญาณโดยใช้ เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ โดยกำหนดความถี่ในการวัดระหว่าง 3 GHz ถึง 5 GHz เพื่อให้ครอบคลุมวัดช่วงความถี่ของเทคโนโลยีการสื่อสารแถบกว้างยิ่งยวดตามมาตรฐาน IEEE802.15.6 โดยทำการวัด 10 ตำแหน่งบนร่างกาย และจำแนกแบบจำลองเป็น 3 กรณี โดยใช้ค่าดัชนีมวลกายในการ จำแนกกรณี คือ กรณีบุคคลร่างกายผอม กรณีบุคคลร่างกายปกติและกรณีบุคคลร่างกายอ้วน ซึ่งผลที่ได้มาผ่านกระบวนการประมวลผล เพื่อศึกษาการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณในรูปแบบรีเกรสชันเชิงเส้น การจางหายหลายวิถี ภาพตัดขวางประวิงกำลัง การเฉลี่ยเวลาประวิงและการแผ่เวลาประวิง อีกทั้งยังแสดงในรูปแบบทางสถิติด้วย

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 6 บท ด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงบทนำ ซึ่งประกอบไปด้วยความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมติฐานของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งยวดและโครงข่ายพื้นที่ไร้สายบนร่างกาย ซึ่งประกอบไปด้วยกล่าวถึง ประวัติความเป็นมาของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งยวด ลักษณะเฉพาะของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งยวด การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งยวด ข้อกำหนดของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งยวด จุดเด่นของระบบแบบแถบกว้างยิ่งยวด โครงข่ายพื้นที่ไร้สายบนร่างกาย มาตรฐานของโครงข่ายไร้สายบนร่างกาย การประยุกต์ใช้งานและบทสรุป

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ระบบโครงข่ายไร้สายบนร่างกายแบบแถบกว้างยิ่งยวด ซึ่งประกอบไปด้วยกล่าวถึง สัญญาณต้นแบบที่ใช้ในการสังเคราะห์ แบบจำลองการสูญเสียเชิงวิถีแบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้น แบบจำลองการจางหายหลายวิถี แบบจำลองเชิงสถิติ และบทสรุป

บทที่ 4 กล่าวถึงการวัดและขั้นตอนการทดลอง ซึ่งประกอบไปด้วยกล่าวถึง แบบแผนการวัดและบทสรุป

บทที่ 5 กล่าวถึงผลการทดลองวิจัยและวิเคราะห์สัญญาณ ซึ่งประกอบไปด้วยกล่าวถึง ผลการทดลองวิจัย และบทสรุป

บทที่ 6 กล่าวถึงสรุปผลและข้อเสนอแนะ ซึ่งประกอบไปด้วยกล่าวถึง สรุปผลของการศึกษาทดลอง และข้อเสนอแนะและแนวทางการวิจัยต่อไปในอนาคต

บทที่ 2

เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายแบบแถบกว้างยิ่งและโครงข่าย พื้นที่ไร้สายบนร่างกายมนุษย์

2.1 กล่าวนำ

การสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งเป็นระบบที่มีการส่งสัญญาณในลักษณะเป็นพัลส์สั้นๆ มีช่วงเวลาของพัลส์แคบมากและใช้ระดับกำลังงานในการส่งสัญญาณมีค่าต่ำ ปัจจุบันนี้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งได้รับความสนใจอย่างแพร่หลาย สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับการสื่อสารไร้สายเพื่อรองรับความต้องการของผู้ใช้งาน เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งเป็นเทคโนโลยีที่มีความละเอียดทางโดเมนเวลาสูง ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เทคโนโลยีนี้มีความเที่ยงตรงสูงมากเช่นกัน ด้วยสาเหตุอันเนื่องมาจากแบนด์วิดท์ (Bandwidth) ของระบบแถบกว้างยิ่งกว้างมาก อีกทั้งยังมีคุณสมบัติในการทะลุทะลวงสิ่งกีดขวางได้ดี ยกตัวอย่างเช่น กำแพง ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป สัญญาณของระบบแถบกว้างยิ่งได้ถูกนิยามไว้เบื้องต้นคือ มีแบนด์วิดท์มากกว่าหรือเท่ากับ 500 MHz หรือมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนมากกว่าหรือเท่ากับ 0.2 จากสูตรการหาค่าความจุของช่องสัญญาณตามทีเชนนอน (Shannon) ได้กล่าวไว้ แสดงให้เห็นว่า ระบบแถบกว้างยิ่ง เมื่อแบนด์วิดท์กว้างจะทำให้มีค่าความจุของช่องสัญญาณมาก ทำให้ส่งข้อมูลได้ในปริมาณที่มากขึ้น สามารถรองรับผู้ใช้งานได้จำนวนมากตามไปด้วย จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นการส่งสัญญาณของระบบแถบกว้างยิ่งนั้นจะทำการส่งสัญญาณผ่านช่องสัญญาณคลื่นวิทยุในลักษณะที่เป็นอิมพัลส์ โดยไม่มีการนำเอาสัญญาณข้อมูลไปมอดูเลตกับสัญญาณพาห้ ฉะนั้นเทคนิคของระบบนี้จึงไม่จำเป็นต้องใช้มิกเซอร์ ทำให้สร้างระบบได้ง่าย ซึ่งหมายความว่า สามารถสร้างระบบทั้งภาคส่งและภาครับให้มีราคาถูก ต้นทุนต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับระบบการสื่อสารแบบดั้งเดิมที่ใช้คลื่นความถี่วิทยุ (Radio Frequency: RF) ด้วยข้อดีหลายประการเกี่ยวกับเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่ง ทำให้ถูกพิจารณาใช้กับโครงข่ายพื้นที่ไร้สายบนร่างกายมนุษย์ ซึ่งได้มีมาตรฐานใหม่เพื่อรองรับการใช้งานนั้นคือ มาตรฐาน IEEE802.15.6 ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงเทคโนโลยีทั้งสองและลักษณะการใช้ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

2.2 ประวัติความเป็นมาของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง

เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายแถบกว้างยิ่งไม่ใช่เทคโนโลยีที่ใหม่ ต้นกำเนิดของระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง มีมานานร้อยปีมาแล้วหรือกล่าวได้ว่าการสื่อสารทางแม่เหล็กไฟฟ้านั้นเริ่มต้นมาพร้อมกับการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง ในปลายคริสต์ศตวรรษที่ 18 วิธีที่ง่ายที่สุดสำหรับการสร้างสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าก็คือการสร้างพัลส์สั้นๆ ขึ้นมาโดยการใช้แหล่งกำเนิดแบบสปาร์คแก๊ป ตัวอย่างเช่น ข้อมูลที่เป็นแม่เหล็กไฟฟ้าครั้งแรกในการทดลองของ Hertz รวมทั้งการทดลองของมาร์โคนี (Marconi) โดยการส่งรหัสมอส (Morse Code) ต่อเนื่องข้ามมหาสมุทรแอตแลนติกด้วยเครื่องกำเนิดสัญญาณสปาร์คแก๊ป (Spark Gap Generator) ซึ่งสร้างขึ้นโดยริกกี (Righi) โดยใช้หลักการการทำให้เกิดแรงดันสูงระหว่างช่องว่างของตัวนำสัญญาณหรือสปาร์คแก๊ป (Spark Gap) เป็นผลให้อากาศบริเวณนั้นเกิดการแตกตัว กระแสไฟฟ้าจึงสามารถเดินทางผ่านอากาศได้ ต่อมาได้มีการนำวิธีดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ขึ้นต้นการวิจัย
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้เกิดสัญญาณคลื่นวิทยุรูปพัลส์ เพื่อใช้ในการส่งข้อมูลเป็นตัวอักษร และยังมีนักทฤษฎีที่สำคัญคนหนึ่งที่ชื่อว่า Sommerfield ได้วิเคราะห์การเลี้ยวเบนของพัลส์สั้นที่เกิดจากครึ่งแผ่นระนาบ (Half-Plane) ซึ่งได้มาเป็นหลักการพื้นฐานของการแพร่กระจายคลื่นของระบบแถบกว้างยิ่ง[14]

อย่างไรก็ตามหลักจากปี ค.ศ. 1910 เป็นต้นมา ความสนใจส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นไปยังการพัฒนาการสื่อสารแบบช่วงความถี่แคบ (Narrowband) เนื่องจากการสื่อสารช่วงความถี่กว้างจะให้ประสิทธิภาพสเปกตรัม (Spectral Efficiency) ของสัญญาณที่เกิดจากตัวส่งแบบสปาร์คแก่ป็นต่ำ และยังมีอัตราบิต (Bit Rate) ที่ต่ำอีกด้วยหรืออาจจะกล่าวได้ว่าสัญญาณเหล่านี้มีตัวประกอบการแผ่กระจายออก (Spreading Factor) ที่กว้าง ซึ่งในเวลานั้นยังไม่มีใครรู้วิธีที่จะนำการแผ่กระจายออกของสัญญาณมาใช้งานอย่างไร ทำให้ดูเหมือนว่าจะไม่เพียงพอสำหรับการใช้งาน ในทางกลับกันการสื่อสารแบบช่วงความถี่แคบแคบซึ่งได้นำมาใช้ในการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่ (Frequency Division Multiplex: FDM) ได้แสดงให้เห็นว่าเป็นเรื่องง่ายที่จะส่งสัญญาณหลายสัญญาณพร้อมกันในช่องความถี่ที่มีอยู่อย่างจำกัดจึงทำให้การศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง ไม่มีความก้าวหน้ามากนัก

จากนั้นในปี ค.ศ. 1960 ได้มีการศึกษาวิจัยเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งอย่างจริงจังอีกครั้ง โดยได้นำมาใช้สำหรับเรดาร์ทางการทหารซึ่งในครั้งนี้ประเด็นสำคัญไม่ได้อยู่ที่ประสิทธิภาพสเปกตรัม แต่จะมุ่งเน้นพัฒนาความละเอียดทางด้านตำแหน่ง (Spatial Resolution) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าต้องการเพิ่มความแม่นยำของเวลาที่ใช้งาน สำหรับการส่งสัญญาณจากเรดาร์ตัวส่งไปยังวัตถุที่ระบุและส่งกลับมายังตัวรับ ในการศึกษาเรื่องนี้เริ่มจากการพิจารณาองค์ประกอบทางฟูรีเยร์ พบว่าต้องส่งสัญญาณเรดาร์แบบพัลส์ที่สั้นกว่าเดิม ส่วนประกอบของระบบเรดาร์แบบแถบกว้างยิ่ง คือการออกแบบกำลังงานสูง และเครื่องกำเนิดพัลส์สั้น (Short-Pulse Generator)

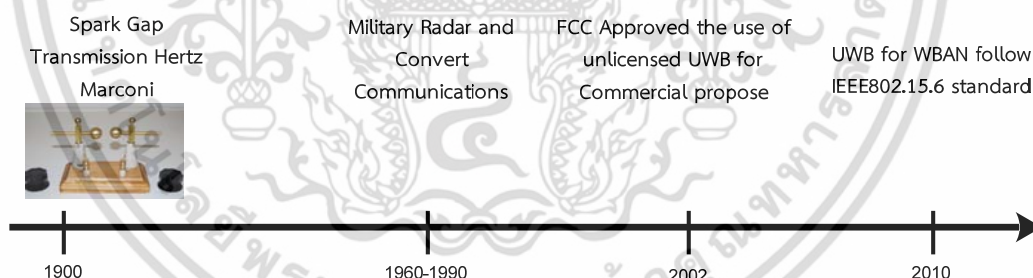
การสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง เริ่มได้รับความสนใจอีกครั้งในปี ค.ศ. 1970 เวลานั้นจะเรียกว่าการสื่อสารเบสแบนด์ (Baseband) หรือแบบปราศจากคลื่นพาห์ (Carrier-Free) และประมาณปี ค.ศ. 1973 ได้มีการยอมรับกันว่าสัญญาณแบบพัลส์สั้นที่แผ่ขยายสัญญาณตลอดสเปกตรัมที่กว้างนั้นไม่ได้รับผลกระทบจากการแทรกสอดของสัญญาณช่วงความถี่แคบและไม่มีผลกระทบของสัญญาณช่วงความถี่แคบเหล่านั้นด้วย แต่มีปัญหาในเรื่องการแทรกสอดแบบ Multiple-Access (Multiple Access Interference: MAI) ของการไม่ซิงโครไนซ์ (Unsynchronized) ของผู้ใช้ ทำให้ในปี ค.ศ. 1970 ถึงปี ค.ศ. 1980 การสื่อสารแถบกว้างยิ่ง ยังคงได้รับการศึกษาค้นคว้าอย่างต่อเนื่องในส่วนของด้านการทหาร และในปี ค.ศ. 1990 ปัญหาเรื่อง MAI ก็ได้รับการแก้ไขโดยริเริ่มจากหลักการวิทยุอิมพัลส์แบบ Time-Hopping (Time Hopping Impulse Radio: TH-IR) [15] โดย Win และ Scholtz ที่แสดงให้เห็นว่าสัญญาณวิทยุอิมพัลส์สามารถรองรับผู้ใช้จำนวนมากไว้ได้โดยใช้การกำหนดเวลาการส่งผ่านแบบสุ่มเทียม (Pseudorandom) ไปยังพัลส์จากผู้ใช้ที่แตกต่างกัน จากการศึกษาดังกล่าวบวกกับความก้าวหน้าในการออกแบบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ทำให้เกิดความสนใจที่จะนำระบบแถบกว้างยิ่ง มาใช้ในเชิงพาณิชย์

อุปสรรคที่สำคัญสำหรับการนำระบบแถบกว้างยิ่งไปใช้ในเชิงพาณิชย์ก็คือความถี่ที่มีอยู่ในธรรมชาติที่จัดสรรให้ใช้อยู่ทั่วโลกนั้นจะกำหนดให้เป็นแบบช่วงความถี่แคบสำหรับการใช้งาน อย่างไรก็ตามหนึ่ง แต่ระบบแถบกว้างยิ่ง ได้ฝ่าฝืนข้อกำหนดดังกล่าวเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่นตลอดช่วงความถี่ที่กว้างอาจจะครอบคลุมช่วงความถี่ที่มีการกำหนดใช้งานอย่างอื่นด้วย ดังนั้นจึงมีการอนุญาตให้สามารถใช้งานระบบแถบกว้างยิ่งได้โดยที่การใช้งานนั้นไม่ไปแทรกสอดกับการใช้งานเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างอื่น จนในที่สุดในปี ค.ศ. 2002 ทางคณะกรรมการกิจการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission: FCC) ได้อนุญาตให้การใช้ ระบบแถบกว้างยังสามารถใช้ได้ที่ย่านความถี่ระหว่าง 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz นอกจากนี้ยังมีการกำหนดมาตรฐาน IEEE 802.15.3a ของชั้นกายภาพสำหรับการสื่อสารไร้สายที่มีค่า Throughput สูงบนพื้นฐานของระบบแถบความถี่ขึ้นมา รวมทั้งมาตรฐาน IEEE 802.15.4a สำหรับการพัฒนาข้อกำหนดเชิงคุณลักษณะที่ใช้ร่วมกันกับอุปกรณ์แถบกว้างยิ่ง

ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2000 เป็นต้นมา งานวิจัยเกี่ยวกับการสื่อสารแถบกว้างยิ่งได้มีจำนวนมากขึ้นซึ่งมีหัวข้อที่ทำการวิจัยที่แตกต่างกันออกไป เช่น การประเมินช่องสัญญาณและการซิงโครไนซ์ (Synchronization) [16] การติดตั้งเพื่อนำไปใช้งานจริงของระบบวิทยุอิมพัลส์และการติดตั้งอื่นที่เกี่ยวข้อง [17-19] การใช้งานเทคโนโลยีแถบความถี่กว้างยิ่งร่วมกับ MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) [20] นอกจากนี้งานวิจัยทางด้านสายอากาศแถบกว้างยิ่ง ก็ได้รับความสนใจเช่นเดียวกันเพื่อที่จะสามารถนำไปใช้งานได้ตรงกับความต้องการของผู้ใช้งาน

อย่างไรก็ตามประโยชน์ของการใช้แบนด์วิดท์ที่กว้างและความสามารถในการใช้งานแบบหลายผู้ใช้โดยการส่งพัลส์แม่เหล็กไฟฟ้าก็ยังไม่เกิดขึ้นในตอนนั้น จากนั้นประมาณ 15 ปีต่อมาการสื่อสารที่ใช้พัลส์ในการส่งสัญญาณได้รับการผลักดันให้ใช้ในทางการทหารในรูปของอิมพัลส์เรดาร์ (Impulse Radars) จากนั้นในปี 1960 – 1990 เทคโนโลยีนี้ได้ถูกจำกัดการใช้งานในกองทัพทหารและแผนการปกครองที่เป็นความลับทางราชการ เช่น การสื่อสารที่ต้องการความปลอดภัยที่สูง อย่างไรก็ตามในตอนนั้นความก้าวหน้าของไมโครโพรเซสเซอร์และสวิตช์ตัดต่อความเร็วสูงในเทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำได้ทำให้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งพร้อมสำหรับการประยุกต์ใช้ในเชิงพาณิชย์ ซึ่งความเป็นมาโดยย่อของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งได้แสดงดังรูปที่ 2.1

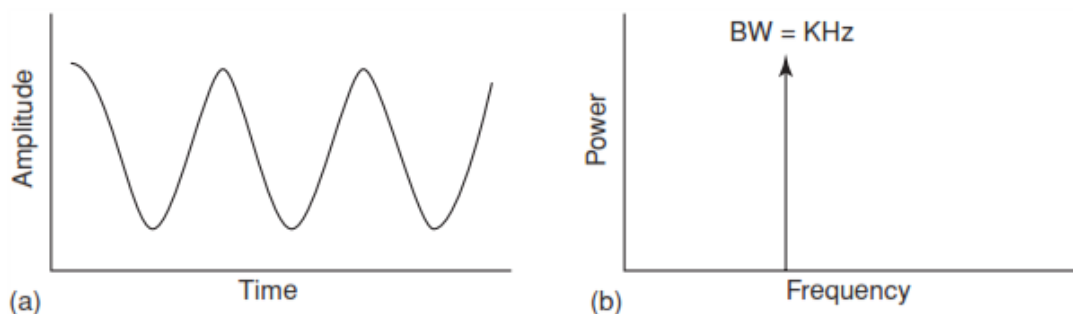


รูปที่ 2.1 ความเป็นมาโดยย่อของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง [21]

2.3 หลักการพื้นฐานของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง

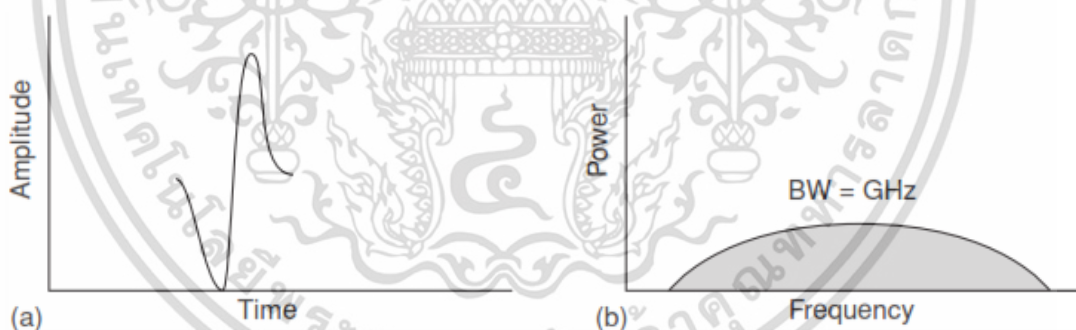
การสื่อสารแบบแถบความถี่แคบ (Narrow Band Communication) นิยมใช้ในการสื่อสารไร้สาย เช่น ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่จีเอสเอ็ม (Global System for Mobile Communication: GSM) ระบบโครงข่ายพื้นที่ท้องถิ่นแบบไร้สาย ซึ่งใช้เทคนิคการผสมสัญญาณวิทยุที่มีความต่อเนื่องทางเวลากับสัญญาณคลื่นพาหะที่มีความถี่ที่กำหนดเพื่อใช้ในการส่งและรับสัญญาณ ทำให้พลังงานของสัญญาณถูกรวมอยู่ในช่วงแถบความถี่หรือแบนด์วิดท์แคบๆ ซึ่งสามารถถูกรบกวนและถูกตรวจจับสัญญาณได้ง่าย รูปที่ 2.2 แสดงสัญญาณแถบแคบในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 สัญญาณแถบแคบ (a) โดเมนเวลา (b) โดเมนความถี่ [22]

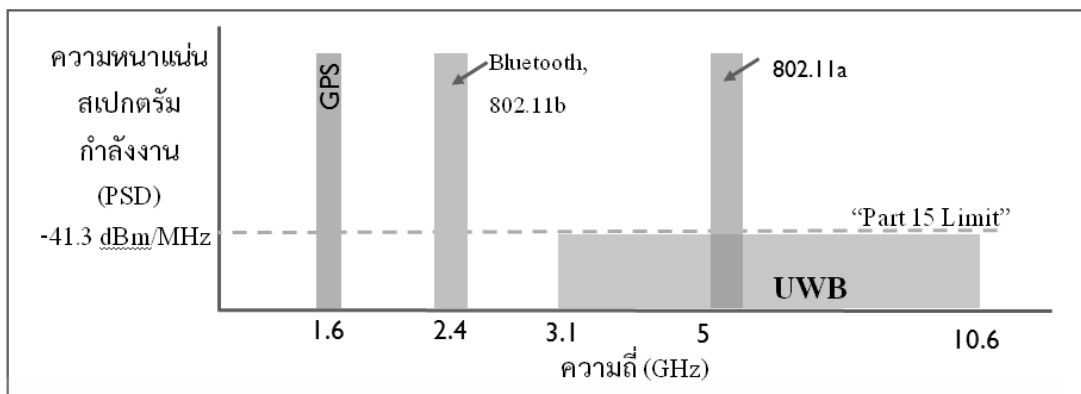
เทคโนโลยีการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง เป็นการสื่อสารแบบใช้แถบความถี่กว้าง (Wideband Communication) นั้นจะใช้สัญญาณที่มีรูปคลื่นสัญญาณปรากฏเพียงชั่วขณะหรือเป็นพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณในทางเวลาที่แคบมาก โดยอยู่ในระดับนาโนวินาที (Nano Second: ns) หรือที่ระดับพิโควินาที (Pico Second: ps) มีลักษณะที่ใกล้เคียงกันกับสัญญาณในอุดมคติที่เรียกว่าสัญญาณอิมพัลส์ (Impulse Signal) โดยระบบแถบกว้างยิ่งมีการส่งและรับสัญญาณนั้นไม่ใช้คลื่นพาห้ (Carrierless) ในการผสมสัญญาณเหมือนในระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่แคบ แต่จะเป็นการส่งสัญญาณที่มีรูปคลื่นของพัลส์ที่มีรูปคลื่นซึ่งไม่ต่อเนื่องในทางเวลาด้วยอัตราการส่งพัลส์ในระดับจำนวนหลายร้อยล้านพัลส์ต่อหนึ่งวินาที ในการส่งและรับสัญญาณ ซึ่งทำให้พลังงานของสัญญาณถูกกระจายอยู่ในช่วงแถบความถี่ที่กว้างมาก ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งเป็นที่มาของชื่อแถบกว้างยิ่ง



รูปที่ 2.3 สัญญาณแถบกว้างยิ่ง (a) โดเมนทางเวลาและ (b) โดเมนความถี่ [23]

สามารถแสดงการเปรียบเทียบสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งซึ่งเป็นการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างมีการกระจายกำลังงานของสัญญาณอยู่ในช่วงแถบความถี่กว้างมากในระดับกิกะเฮิรตซ์กับสัญญาณที่ใช้ในการสื่อสารแบบแถบความถี่แคบ ที่มีการกระจายกำลังงานของสัญญาณอยู่ในช่วงแถบความถี่แคบได้ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งจะเห็นได้ว่าแถบความถี่บางช่วงของระบบแถบกว้างยิ่งมีการทับซ้อนกับระบบแถบแคบ ซึ่งในช่วงความถี่นี้อาจเกิดการแทรกสอดของสัญญาณได้ ซึ่งเป็นสิ่งหนึ่งที่ต้องพิจารณาในการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 เปรียบเทียบระดับความหนาแน่นแถบกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่งกักระบบอื่นๆ [24]

2.4 ลักษณะของสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

จากคำจำกัดความของ FCC ได้กำหนดไว้ว่าสัญญาณแถบกว้างยิ่งจะต้องมีแบนด์วิดท์มากกว่า 500 MHz หรือมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนมากกว่าหรือเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ [24] แบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเป็นองค์ประกอบที่ใช้สำหรับแบ่งประเภทสัญญาณ เช่น Narrowband Wideband หรือ Ultra-Wideband สมการที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ของแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วน

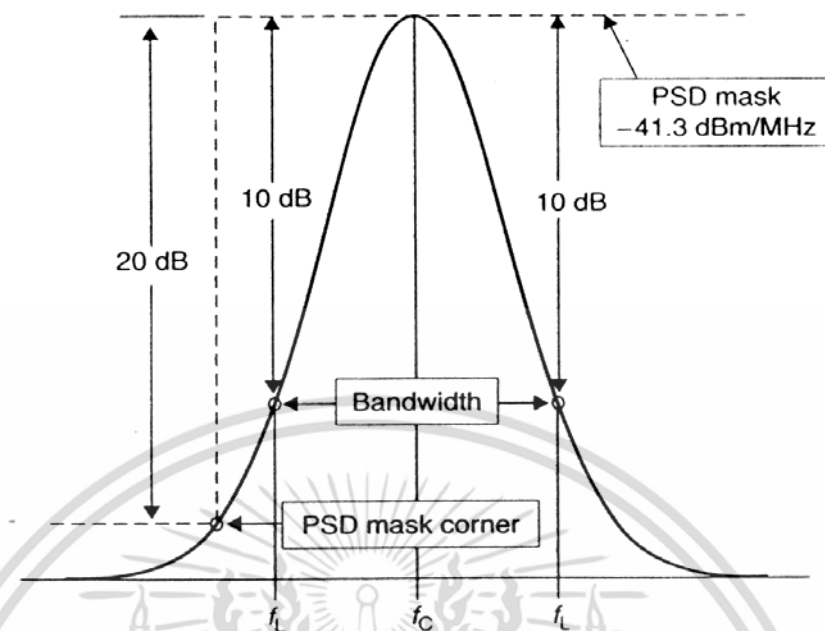
$$B_f = \frac{BW}{f_c} \times 100\% = \frac{(f_h - f_l)}{(f_h + f_l) / 2} \times 100\% = \frac{2(f_h - f_l)}{f_h + f_l} \times 100\% \quad (2.1)$$

เมื่อ f_h และ f_l เป็นความถี่สูงสุดและความถี่ต่ำสุดของความถี่คัทออฟ (ที่ระดับ -10 dB)

ลักษณะเฉพาะโดยทั่วไปของสัญญาณแถบกว้างยิ่ง คือกำหนดให้อยู่ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 3.1 GHz. ถึง 10.6 GHz ตามมาตรฐานโดยตัวแพร่กระจายคลื่นแถบกว้างยิ่งนั้นต้องทำการออกแบบและตรวจสอบเพื่อรับรองว่าการแพร่กระจายคลื่นในช่วงแบนด์วิดท์ตั้งแต่ 20 dB ลงมาจากระดับสูงสุดของสเปกตรัมที่กำหนดไว้ต้องอยู่ภายในแถบความถี่ของระบบแถบกว้างยิ่ง และค่าแบนด์วิดท์ที่น้อยที่สุดโดยวัดที่ระดับต่ำลงมา 10 dB จากระดับสูงสุดของการแพร่กระจายเท่ากับ 500 MHz โดยระดับสูงสุดที่อนุญาตให้การแพร่กระจายกำลังงานสำหรับสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนั้นถูกกำหนดไว้ที่ -41.3 dBm/MHz ดังรูปที่ 2.5

ปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานกำหนดใช้รูปแบบของสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่งจึงมีหลายๆ สถาบันที่กำลังศึกษาวิจัยข้อมูลในเรื่องของสัญญาณที่จะใช้ส่งในระบบแถบกว้างยิ่งในอนาคต ซึ่งโดยทั่วไปสัญญาณแถบกว้างยิ่งมีลักษณะที่ใกล้เคียงรูปแบบของสัญญาณอุดมคติที่เรียกว่าสัญญาณอิมพัลส์ โดยสัญญาณที่มีลักษณะเป็นรอบเดี่ยว (Monocycle) นิยมใช้ในการสร้างและจำลองสัญญาณแถบกว้างยิ่ง โดยทั่วไปสัญญาณแถบกว้างยิ่งแบบพัลส์จะใช้สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียน (Gaussian) สัญญาณพัลส์แบบเชิร์ป (Chirp) หรือ สัญญาณพัลส์แบบเวฟเล็ต (Wavelet) เป็นต้น รูปที่ 2.6 แสดงตัวอย่างสัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนในโดเมนเวลาและความถี่ เกาส์เซียนรอบเดี่ยวที่เป็นอนุพันธ์อันดับแรกของสัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนแสดงได้ดังสมการที่ 2.2

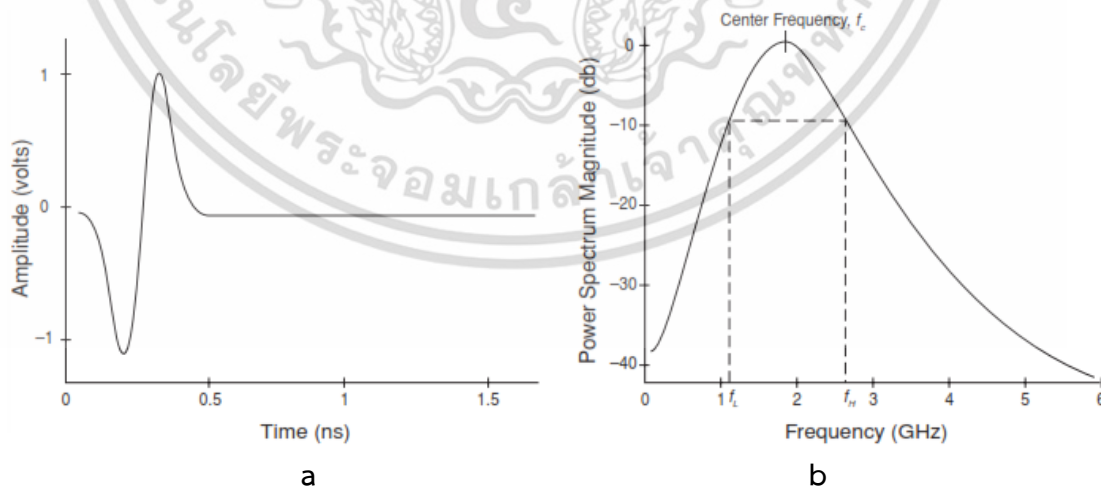
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 หลักการพิจารณาสัญญาณแถบกว้างยิ่ง [24]

$$P(t) = \frac{t}{\tau} e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)^2} \tag{2.2}$$

เมื่อ t คือเวลา และ τ คือ ค่าคงที่การหน่วงของเวลา



รูปที่ 2.6 ลักษณะของสัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียน a โดเมนเวลา b โดเมนความถี่ [24]

จากรูปที่ 2.6 แสดงสัญญาณพัลส์เดี่ยวแบบเกาส์เซียนในทางเวลาที่มีความกว้างพัลส์ประมาณ ๕๐๐ พิโควินาที และในโดเมนความถี่ที่มีความถี่กลางที่ 2 GHz โดยมีความถี่คutoffต่ำสุดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสูงสุดที่ -10 dB ประมาณ 1.2 GHz และ 2.8 GHz ตามลำดับ ซึ่งทำให้มีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วน 80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าต่ำสุดของแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนที่กำหนดโดย FCC

$$B_f = 2 \times \frac{(2.8-1.2)}{2.8+1.2} \times 100\% = 80\% \quad (2.3)$$

ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของสัญญาณตามแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนได้ดังนี้

Narrowband	$B_f < 1\%$
Wideband	$1\% < B_f < 20\%$
Ultra-Wideband	$B_f > 20\%$

สำหรับตัวอย่าง เทคโนโลยี 802.11 และบลูทูธ มีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วน 0.8 เปอร์เซ็นต์ และ 0.04 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

2.5 จุดเด่นของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

ลักษณะของพัลส์ที่มีช่วงเวลาแคบที่ใช้ในเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งจะมีข้อดีหลายประการเมื่อเทียบกับระบบการสื่อสารแถบแคบ ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงประโยชน์ของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งที่จะนำมาใช้ในการสื่อสารไร้สาย [24]

2.5.1 มีความจุของช่องสัญญาณมาก

จุดเด่นที่สำคัญของการมีแบนด์วิดท์ที่กว้างสำหรับพัลส์แถบกว้างยิ่งคือการทำให้ความจุของช่องสัญญาณมากขึ้น โดยความจุของช่องสัญญาณหรืออัตราการส่งข้อมูลจะบอกถึงขนาดของข้อมูลทั้งหมดที่สามารถส่งผ่านช่องสัญญาณการสื่อสารต่อหนึ่งวินาที ซึ่งขนาดความจุที่มากของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งสามารถพิจารณาได้จากสูตรของแฮนนอน (Hartley-Shannon) ดังสมการที่ 2.4

$$C = B \log_2(1 + SNR) \quad (2.4)$$

เมื่อ C คือค่าความจุช่องสัญญาณสูงสุด
 B คือแบนด์วิดท์
 SNR คืออัตราสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน

จากสมการจะเห็นว่าค่าความจุของช่องสัญญาณจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อแบนด์วิดท์มีมากขึ้น เพราะฉะนั้นสัญญาณแถบกว้างยิ่งที่มีแบนด์วิดท์มากถึง 7.5 GHz จึงทำให้มีอัตราการส่งข้อมูลในระดับหลายร้อยเมกะบิตต่อวินาที (Mbps) แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจาก FCC ได้จำกัดกำลังส่งของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งไว้ จึงทำให้สามารถที่จะส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงในระยะสั้นๆ เท่านั้น ทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคโนโลยีแถบกว้างยังเป็นตัวเลือกที่น่าจับตามองสำหรับระบบการสื่อสารไร้สายระยะสั้นที่มีความเร็วสูง เช่นโครงข่ายไร้สายส่วนบุคคล (WPANs)

2.5.2 ใช้กำลังในการส่งต่ำ

จากข้อกำหนดโดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาได้กำหนดให้กำลังงานในการส่งสัญญาณของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งนั้นมีค่าสูงสุดไม่เกิน -41.3 dBm/MHz ทำให้สัญญาณของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งนั้นมีการแพร่กระจายกำลังงานในระดับต่ำโดยอยู่ในระดับของสัญญาณรบกวน (Noise Floor) จึงทำให้ระบบอื่นมองว่าสัญญาณของแถบกว้างยิ่งนี้เป็นสัญญาณรบกวนเลยถูกกำจัดออกไป ทำให้สัญญาณของแถบกว้างยิ่งไม่มีผลกระทบต่อระบบอื่นๆ

2.5.3 มีโอกาสที่จะถูกดักฟังหรือตรวจจับได้ยาก

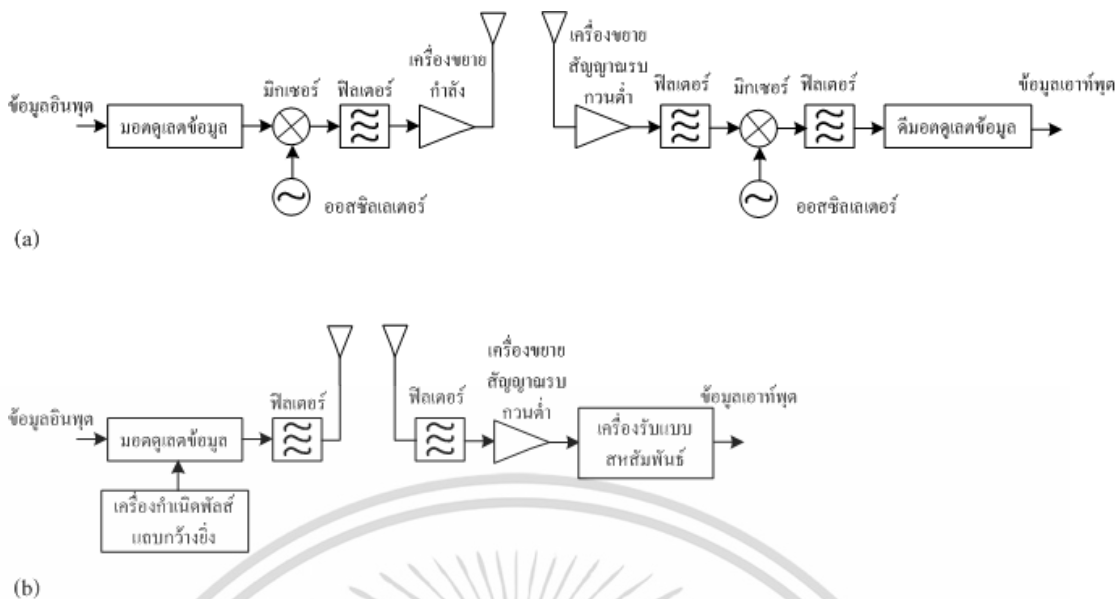
เนื่องจากมีกำลังเฉลี่ยในการส่งที่ต่ำ ทำให้เทคโนโลยีการสื่อสารแถบกว้างยิ่งมีความสามารถในการถูกดักฟังและตรวจจับได้ยาก การส่งสัญญาณด้วยกำลังส่งที่ต่ำทำให้ผู้ดักฟังจะต้องอยู่ใกล้กับตัวส่งสัญญาณมาก (ประมาณ 1 เมตร) เพื่อที่จะสามารถตรวจจับข่าวสารที่ส่งได้ นอกจากนี้พัลส์ของสัญญาณแถบกว้างยิ่งเป็นการมอดูเลตทางเวลา (Time Modulation) ด้วยรหัสเฉพาะสำหรับภาคส่งและภาครับนั้นๆ การมอดูเลตทางเวลาของแถบกว้างยิ่งที่มีพัลส์ที่แคบมากๆ จะช่วยเพิ่มความปลอดภัยในการส่งสัญญาณ เนื่องจากการที่จะตรวจจับพัลส์ในระดับพิโกวินาที (Pico Second) โดยที่ไม่รู้ว่ามีมันจะมาถึงเมื่อไหร่เป็นเรื่องที่แทบจะเป็นไปไม่ได้เลย ฉะนั้นเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งจึงเป็นเทคโนโลยีที่มีความปลอดภัยมาก ยากต่อการดักฟังและตรวจจับ การสื่อสารที่ต้องการจุดเด่นในข้อนี้คือการสื่อสารของกองทัพและการปกครอง

2.5.4 มีความต้านทานจากการถูกรบกวนสัญญาณ

หากเปรียบเทียบกับแถบความถี่ของการสื่อสารแถบแคบแล้ว แถบความถี่ของการสื่อสารแถบกว้างยิ่งนั้นครอบคลุมช่วงของความถี่ที่มากกว่าในระดับหลายกิกะเฮิร์ต การมีความถี่ที่หลากหลายของสัญญาณแถบกว้างยิ่งทำให้มีความต้านทานต่อการถูกรบกวนสัญญาณไม่ว่าจะเป็นการรบกวนโดยตั้งใจหรือไม่ตั้งใจ เพราะหาไม่มีผู้ที่ทำให้การรบกวนสัญญาณคนไหนที่สามารถรบกวนสัญญาณในทุกความถี่ของแถบความถี่กว้างยิ่งได้ในครั้งเดียว ฉะนั้นถ้าความถี่บางความถี่ถูกรบกวน แถบกว้างยิ่งก็ยังเหลือช่วงความถี่อีกมากมายที่ยังไม่ถูกใช้

2.5.5 มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนและมีราคาถูก

เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งเป็นเทคโนโลยีที่ไม่ต้องการคลื่นพาห้ (Carrier Less) นั้นหมายความว่าไม่ต้องมีการมอดูเลตสัญญาณข้อมูลเหมือนกับในเทคโนโลยีแถบแคบและเทคโนโลยีแถบกว้าง การสื่อสารที่ปราศจากคลื่นพาห้มีความต้องการส่วนประกอบต่างๆ น้อยกว่าการสื่อสารที่มีการมอดูเลตเข้ากับสัญญาณพาห้ ด้วยเหตุผลนี้เองจึงทำให้โครงสร้างของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งมีความซับซ้อนน้อยกว่าและมีราคาในการสร้างถูกกว่าเทคโนโลยีแถบแคบ รูปที่ 2.7 เป็นการเปรียบเทียบบล็อกไดอะแกรมภาคส่ง-ภาครับของเทคโนโลยีแถบแคบกับเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง



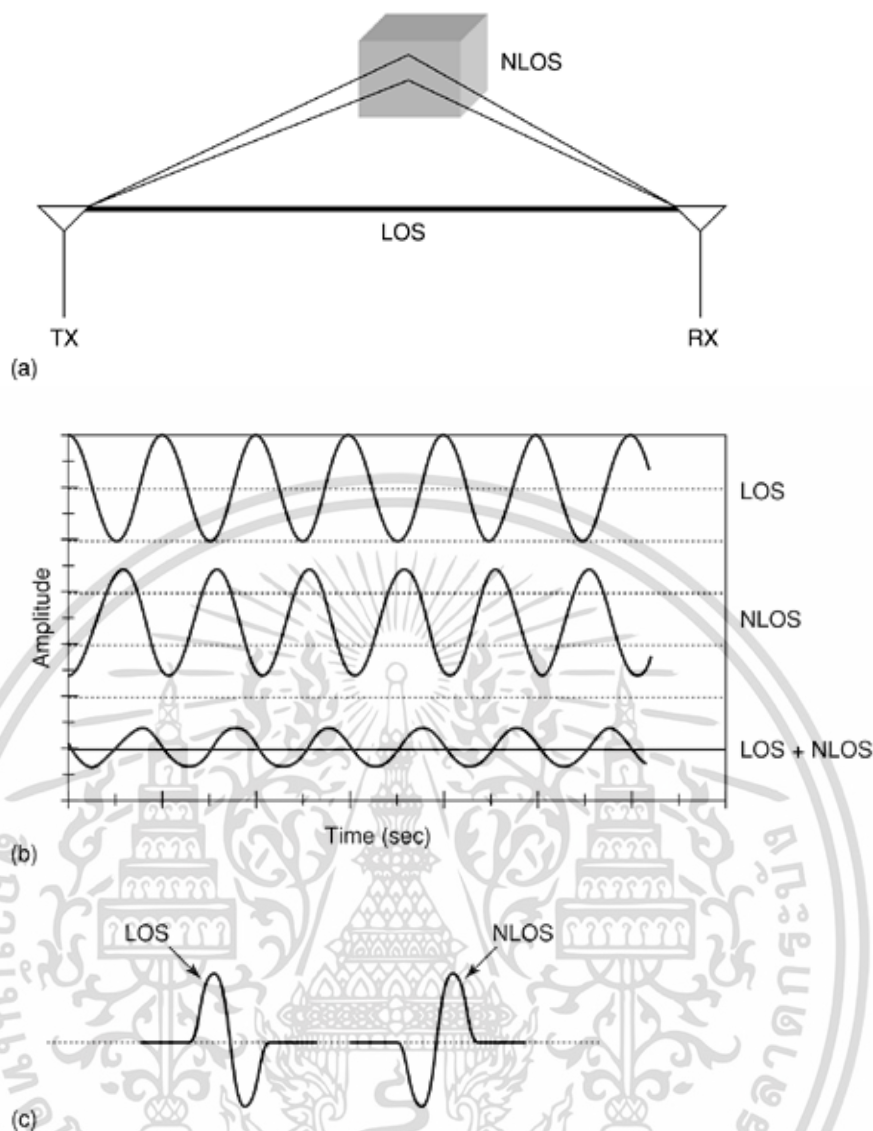
รูปที่ 2.7 เปรียบเทียบโครงสร้างระบบแถบกว้างยิ่งกัระบบแถบแคบ [24]

- a) บล็อกไดอะแกรมภาคส่ง-ภาครับของเทคโนโลยีแถบแคบ
- b) บล็อกไดอะแกรมภาคส่ง-ภาครับของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง

จากรูปที่ 2.7 ภาคส่ง-ภาครับของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งมีโครงสร้างที่ง่ายกว่าระบบแถบแคบ เนื่องจากการสื่อสารแถบกว้างยิ่งที่ใช้พัลส์ที่มีกำลังส่งต่ำจะไม่จำเป็นต้องมีตัวขยายกำลัง (Power Amplifier: PA) ในภาคส่ง และจากการที่การสื่อสารแถบกว้างยิ่งไม่มีการใช้สัญญาณพาห้ทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้มิกเซอร์ (Mixer) และออสซิลเลเตอร์ (Oscillators) ในการแปลงความถี่พาห้ไปเป็นแถบความถี่ที่ต้องการทั้งในภาครับและภาคส่ง

2.5.6 มีความต้านทานต่อคลื่นหลายวิถี

เป็นที่รู้กันว่าการเกิดช่องสัญญาณหลายวิถีเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ในการสื่อสารไร้สาย ซึ่งเป็นผลมาจากการสะท้อนของสัญญาณการสื่อสารจากหลายๆ ทิศทางที่วัสดุต่างๆ เช่น อาคาร ใต้สะพาน หรืออุปกรณ์สำนักงาน เป็นต้น เส้นทางจากสายอากาศส่งไปยังสายอากาศรับโดยตรงเรียกว่า เส้นระดับสายตา (Line of Sight: LOS) ส่วนสัญญาณที่เกิดจากการสะท้อนจากพื้นผิววัสดุต่างๆ จะไม่เป็นเส้นระดับสายตา (Non Line of Sight: NLOS) โดยรูปที่ 2.8 แสดงช่องทางการเกิดคลื่นหลายวิถีในระบบแถบแคบและแถบกว้างยิ่ง



รูปที่ 2.8 ผลของช่องสัญญาณหลายวิถีในระบบแถบแคบและแถบกว้างยิ่ง [23]

- (a) การเกิดช่องสัญญาณหลายวิถีในการสื่อสารไร้สาย
- (b) ผลของช่องสัญญาณหลายวิถีในระบบแถบแคบ
- (c) ผลของช่องสัญญาณหลายวิถีในระบบแถบกว้างยิ่ง

จากรูปที่ 2.8 ผลของช่องสัญญาณหลายวิถีสำหรับสัญญาณแถบแคบจะเกิดขึ้นค่อนข้างมากกว่าสัญญาณแถบกว้างยิ่ง เนื่องจากการรวมกันแบบต่างเฟส (Out of Phase) ของสัญญาณที่มาจาก LOS และ NLOS ทำให้ระดับของแอมพลิจูดลดลงมาก แต่ในเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งการส่งพัลส์ที่มีช่วงเวลาแคบมากๆ ทำให้เทคโนโลยีนี้ได้รับผลกระทบจากช่องสัญญาณหลายวิธิน้อยกว่าเนื่องจากช่วงเวลาการส่งผ่านของพัลส์ของแถบกว้างยิ่งช่วงเวลานั้นสั้นกว่านาโนวินาที (Nano Second: ns) ทำให้พัลส์ที่เกิดจากการสะท้อนมีโอกาสน้อยมากที่จะไปถึงพร้อมกับพัลส์ที่เป็น LOS

2.5.7 มีความละเอียดสูงในโดเมนเวลา

ด้วยพัลส์ที่มีลักษณะทางโดเมนเวลาที่แคบมากๆ หรืออาจกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่าเป็นพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณน้อยมากๆ นั้นหมายถึง ระบบคลื่นวิทยุแบบแถบกว้างยิ่งมีความเป็นไปได้ที่จะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถควบคุมจังหวะและค่านวนเวลาได้อย่างถูกต้องแม่นยำมากกว่าระบบดาวเทียมบอกพิกัด (Global Positioning System: GPS) และระบบคลื่นวิทยุแบบอื่นๆ อีกทั้งด้วยคุณสมบัติในการแพร่กระจายผ่านวัสดุได้ดี จึงทำให้สัญญาณแถบกว้างยิ่ง ที่มีการมอดูเลตทางเวลาถูกนำมาใช้งานในระบบเรดาร์ระยะสั้น เช่นในการช่วยเหลือชีวิตและปฏิบัติการป้องกันอาชญากรรม เช่นเดียวกับการใช้งานสำรวจและในอุตสาหกรรมการทำเหมืองแร่ เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 จุดเด่นและประโยชน์ของการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง [24]

จุดเด่น	ประโยชน์
ช่องสัญญาณมีความจุมาก	ช่องสัญญาณที่มีความจุมากสามารถรองรับการแสดงผลไฟล์วิดีโอที่มีความละเอียดสูง
ใช้กำลังส่งต่ำ	ไม่ไปรบกวนกับระบบอื่นๆ
มีโอกาที่จะถูกดักฟังหรือตรวจจับได้ยาก	เพิ่มความปลอดภัย เหมาะกับการใช้ในกองทัพและงานด้านความมั่นคง
มีความต้านทานจากการถูกรบกวนสัญญาณ	มีความน่าเชื่อถือได้เมื่อนำไปใช้ในสภาวะแวดล้อมที่มีกลุ่มที่ไม่หวังดี
มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน	ทำให้มีขนาดเล็ก สร้างได้ง่าย และมีราคาถูก
มีความต้านทานต่อช่องสัญญาณหลายวิถี	ให้สัญญาณที่มีกำลังสูงกว่า ในสภาวะแวดล้อมที่มีผลการสะท้อนมาก

2.6 ข้อกำหนดของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

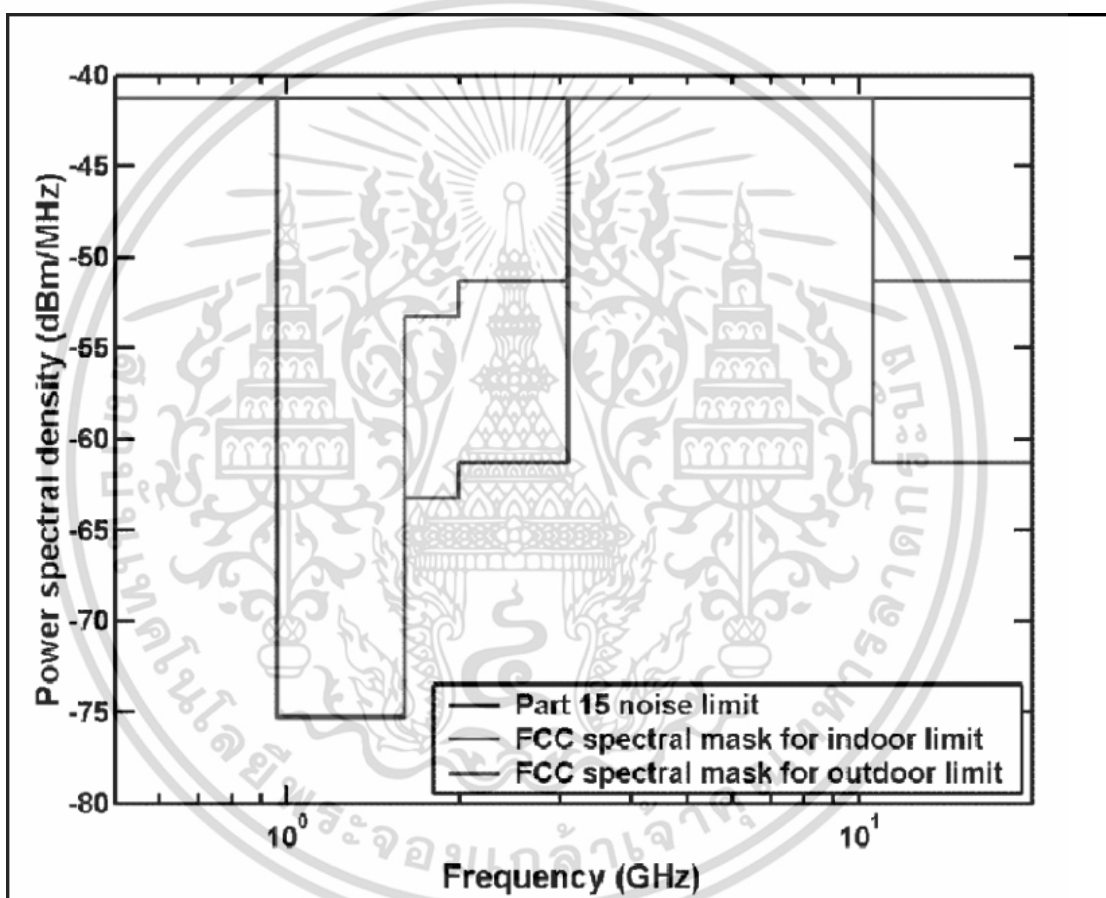
ในระบบแถบกว้างยิ่งได้มีข้อกำหนดของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง คือการจัดสรรความถี่ในการใช้งาน โดยในประเทศสหรัฐอเมริกาจะถูกกำหนดโดย FCC เช่นเดียวกันกับในยุโรปก็ได้มีการหาข้อตกลงการจัดสรรคลื่นความถี่ และการแทรกสอดของความถี่วิทยุแถบกว้างยิ่ง โดยสถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป (European Telecommunications Standard Institute: ETSI) หรือ สหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union: ITU) สำหรับในประเทศญี่ปุ่นได้มีการกำหนดจัดสรรความถี่ในการใช้งาน โดยกระทรวงพาณิชย์ และการสื่อสารภายในประเทศ (Ministry of Internal Affairs and Communications: MIC) ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้ข้อกำหนดตามแบบของ FCC โดยมีประวัติความเป็นมาและข้อกำหนดดังนี้

FCC ได้ออกประกาศในปี ค.ศ.1998 เกี่ยวกับการตรวจสอบหรือ (Notice of Inquiry: NOI) โดยถึงแม้ว่าจะได้คาดการณ์ถึงระดับกำลังงานที่ใช้ในการส่งผ่านสัญญาณที่มีระดับต่ำมากๆ แล้วก็ตามยังมีกลุ่มผู้ที่สนับสนุนในระบบเดิม ที่มีใช้งานกันอยู่ได้ทำการต่อต้านการนำระบบแถบกว้างยิ่งมาใช้งานสำหรับการสื่อสารของพลเรือน ซึ่งเรียกร้องโดยมากจะเกี่ยวข้องกับคาดการณ์ถึงการเพิ่มขึ้นของระดับการสอดแทรกในแถบความถี่ที่มีอยู่อย่างจำกัด เช่น แถบความถี่ในการกระจายสัญญาณโทรทัศน์แถบความถี่ที่สำรองไว้ สำหรับคลื่นวิทยุทางดาราศาสตร์ และระบบ GPS โดยที่องค์กรบริหารการบินแห่งสหรัฐอเมริกาหรือ (Federal Aviation Administration: FAA) ได้แสดงความเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห่วงต่อการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบความปลอดภัยในกิจการการบินและทิศทางการค้นคว้าเกี่ยวกับเครื่องส่งในระบบแถบกว้างยิ่งด้วยเช่นกัน

FCC ได้ออกกฎสำหรับเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งเมื่อ 14 กุมภาพันธ์ ค.ศ.2002 ซึ่งเป็นการกำหนดขอบเขตของการแพร่กระจายของความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานฉบับที่หนึ่ง สำหรับเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง และยังอนุญาตให้เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในลักษณะทางการค้าอีกด้วย โดยกำหนดสเปกตรัมมาร์ค (Spectral Mask) สำหรับการจำกัดการแพร่กระจายความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานสำหรับการสื่อสารภายในและภายนอกอาคาร ดังแสดงในรูปที่ 2.9 และการจำกัดการแพร่กระจายความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานสำหรับการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย FCC แสดงดังตารางที่ 2.2



รูปที่ 2.9 สเปกตรัมมาร์คสำหรับการจำกัดการแพร่กระจายความหนาแน่นแถบกำลังงานสำหรับการสื่อสารภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย FCC [24]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 การจำกัดการแพร่กระจายความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานสำหรับการสื่อสารแบบ แลกกว้างยิ่งภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย FCC [24]

ความถี่	ภายในอาคาร	ภายนอกอาคาร
	EIRP	EIRP
960 MHz – 1.61 GHz	-75.3 dBm	-75.3 dBm
1.61 GHz – 1.99 GHz	-53.3 dBm	-63.3 dBm
1.99 GHz – 3.1 GHz	-51.3 dBm	-61.3 dBm
3.1 GHz – 10.6 GHz	-41.3 dBm	-41.3 dBm
สูงกว่า 10.6 GHz	-51.3 dBm	-51.3 dBm

2.7 มาตรฐานของระบบการสื่อสารแบบแลกเปลี่ยนยิ่ง

มาตรฐานของระบบแลกเปลี่ยนยิ่งมีอยู่ 3 มาตรฐาน คือ IEEE 802.15.3a ใช้สำหรับโครงข่าย พื้นที่ส่วนบุคคลไร้สาย (Wireless Personal Area Network: WPAN) ระยะทางไกลอัตราส่งข้อมูลสูง IEEE 802.15.4a ใช้สำหรับ WPAN ระยะทางไกลอัตราส่งข้อมูลต่ำ และ IEEE 802.15.6 ใช้สำหรับระบบโครงข่ายพื้นที่ร่างกายไร้สาย (Wireless Body Area Network: WBAN)

2.7.1 มาตรฐาน IEEE 802.15.3a

มาตรฐาน IEEE 802.15.3a ได้พยายามปรับปรุงอัตราการส่งของมาตรฐาน IEEE 802.15.3 ให้สูงขึ้นโดยการนำเอาเทคโนโลยีแลกเปลี่ยนยิ่ง มาใช้ ซึ่งมีจุดประสงค์จะนำมาใช้กับ WPAN โดยมีระยะทางการใช้งานถึง 10 m ที่อัตราการส่งข้อมูล 110 Mbps และที่ระยะทางใกล้คือประมาณ 2 m สามารถมีอัตราส่งข้อมูลได้สูงถึง 480 Mbps [25] แต่เกิดปัญหาเนื่องจากไม่สามารถตกลงกันได้ว่าจะเลือกใช้เทคโนโลยีไหนระหว่างการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่ตั้งฉากหลายแถบ (Multi-Band Orthogonal Frequency Division Multiplexing: MB-OFDM) กับแลกเปลี่ยนยิ่งลำดับตรง (Direct Sequence Ultra Wideband: DS-UWB) ซึ่งได้รับการสนับสนุนจากสองบริษัทพันธมิตร และในเดือนมกราคม ปี ค.ศ. 2006 มาตรฐานนี้ได้ถูกยกเลิกไป

2.7.2 มาตรฐาน IEEE 802.15.4a

มาตรฐาน IEEE 802.15.4a ได้มีการนำเอาเทคโนโลยีแลกเปลี่ยนยิ่ง มาประยุกต์ใช้สำหรับ WPAN โดยปรับปรุงให้มีระยะทางการใช้งานที่ไกลขึ้นได้ถึงประมาณ 100 เมตร โดยลดอัตราส่งข้อมูลลง มีอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ที่นาน รวมทั้งมีราคาถูก สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับระบบโครงข่ายการตรวจจ็ไร้สาย และระบบการหาตำแหน่งที่มีความเที่ยงตรงสูง การส่งสัญญาณมีพื้นฐานอยู่บนเทคนิคการส่งพัลส์ที่มีความกว้างของพัลส์แคบมากประมาณได้เป็นอิมพัลส์ จึงเป็นที่มาของชื่อแลกเปลี่ยนยิ่ง [25]

2.7.3 มาตรฐาน IEEE 802.15.6

มาตรฐาน IEEE 802.15.6 เป็นมาตรฐานที่ตั้งขึ้นมาใหม่สำหรับนำมาประยุกต์ใช้กับ WBAN โดยมีการใช้งานสำคัญคือตรวจสุขภาพร่างกายของผู้ป่วย วินิจฉัยโรค รวมทั้งควบคุมเชื้อโรค WBAN ทำงานบริเวณใกล้กับ ติดอยู่กับ หรือภายในร่างกายของมนุษย์ โดยมีการใช้งานส่งข้อมูลระหว่างโนดภายในร่างกาย และส่งข้อมูลจากร่างกายไปยังอุปกรณ์ การประยุกต์ใช้ทั้งทางการแพทย์หรือด้านอื่น [26]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 การประยุกต์ใช้งานของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง

ระบบแถบกว้างยิ่งนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายรูปแบบทั้งการประยุกต์ใช้ในสำนักงาน ในที่พักอาศัย ดังนี้

2.8.1 การประยุกต์ใช้งานเครือข่ายภายในอาคารสำนักงาน

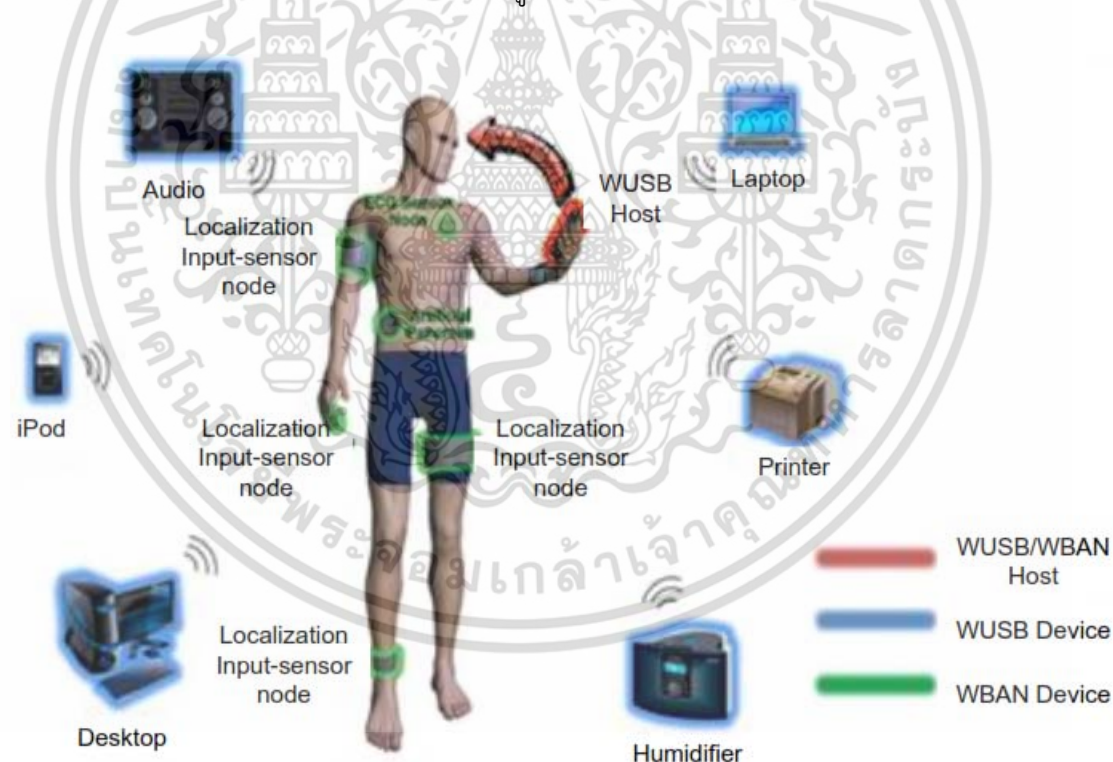
การนำเทคโนโลยีแบบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานในการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภายในอาคารสำนักงาน ซึ่งระบบการสื่อสารแบบไร้สายระยะสั้นมีความต้องการอัตราการส่งข้อมูลสูง เพื่อรองรับระบบมัลติมีเดียที่ใช้ในอาคารสำนักงาน

2.8.2 การประยุกต์ใช้งานเครือข่ายภายในที่พักอาศัย

เป็นการนำเทคโนโลยีแบบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานในการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภายในที่พักอาศัย เช่น คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล เครื่องเล่นดีวีดี ทีวี กล้องดิจิทัล เป็นต้น

2.8.3 การประยุกต์ใช้งานกับโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์

เป็นการนำเทคโนโลยีแบบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานในการเชื่อมต่อกับอวัยวะต่างๆ ของร่างกายมนุษย์ เพื่อให้อวัยวะของร่างกายสามารถสื่อสารกับโลกภายนอกได้ ซึ่งมีประโยชน์ทั้งทางการแพทย์และการสื่อสารในชีวิตประจำวัน ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การนำเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งประยุกต์ใช้งานโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ [26]

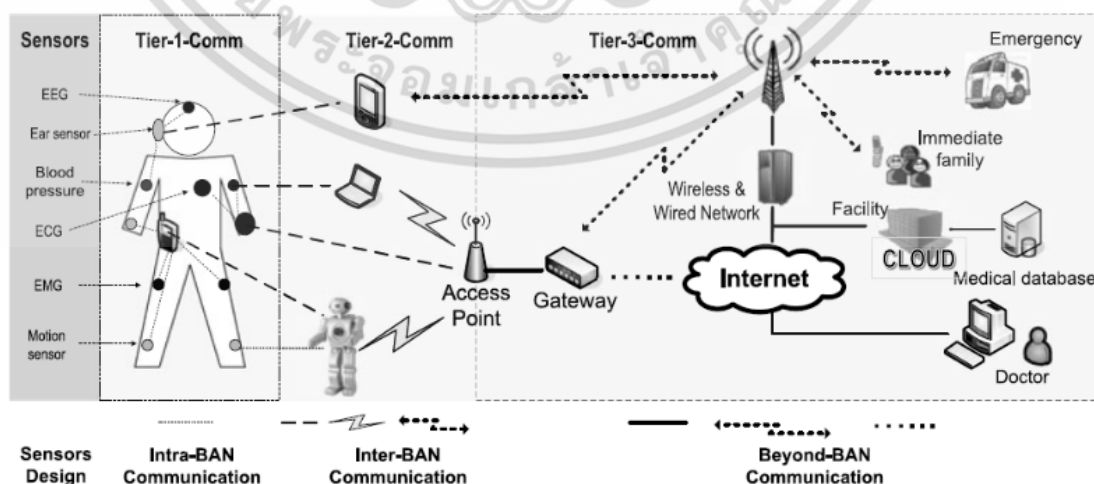
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.4 การประยุกต์ใช้งานในการค้นหาตำแหน่ง

เทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งเหมาะกับการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบเรดาร์ เพราะเป็นเทคโนโลยีที่มีราคาต้นทุนต่ำ เนื่องจากระบบเรดาร์เป็นระบบที่ยังมีความต้องการของตลาด ในอนาคต สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบการเคลื่อนที่ของวัตถุ ตรวจสอบเพื่อหลีกเลี่ยง การชน การตรวจจับความเร็วบนถนน ใช้เป็นระบบรักษาความปลอดภัยส่วนบุคคลในการตรวจสอบ การเคลื่อนที่ในพื้นที่ที่เราต้องการความปลอดภัยสูงหรือพื้นที่ที่ต้องการความเข้มงวดในการตรวจสอบ สูง ประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบทะลุผ่านวัสดุที่ใช้ทำอาคารเช่น ไม้ อิฐ อิฐบล็อก ไฟเบอร์ พลาสติก และคอนกรีต

2.9 โครงข่ายพื้นที่ไร้สายบนร่างกายมนุษย์

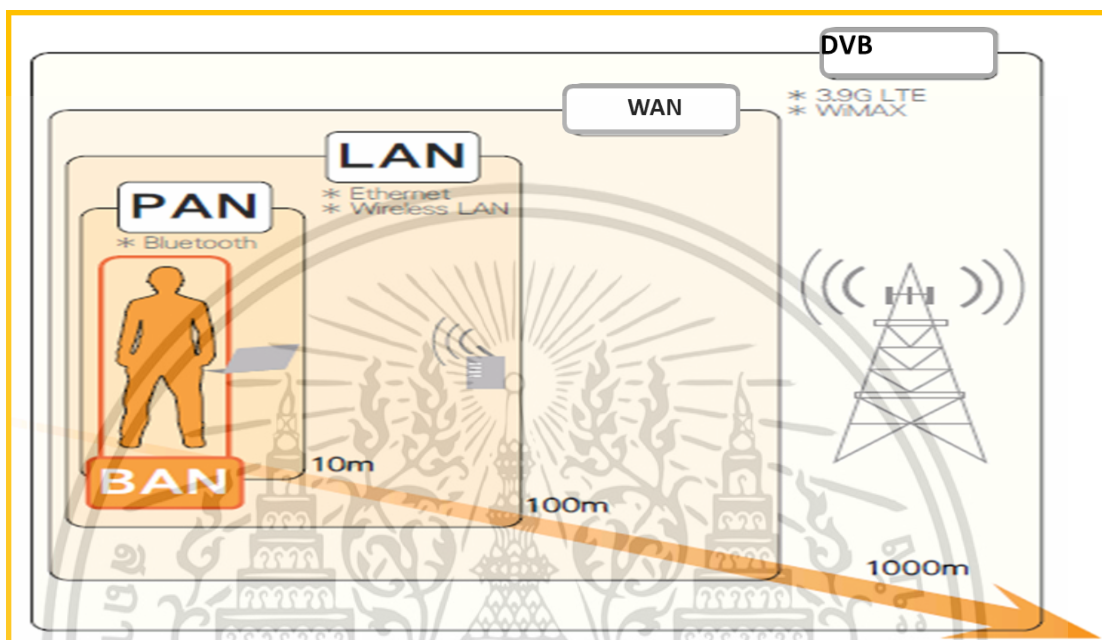
ปัจจุบันเทคโนโลยีของการสื่อสารแบบไร้สายได้พัฒนาอย่างรวดเร็วและได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้น ด้วยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีในการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทำให้สามารถผลิตอุปกรณ์สื่อสารที่มีขนาดเล็ก รองรับกับมาตรฐานการสื่อสารแบบใหม่คือ โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ (Wireless Body Area Network: WBAN) เพื่อเพิ่มความสะดวกรวดเร็วในการติดต่อสื่อสารเช่นการสื่อสารส่วนบุคคล การสื่อสารระยะสั้นระหว่างอุปกรณ์ภายในอาคารสำนักงาน และบ้านพักอาศัย โครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ ได้ถูกกล่าวถึงครั้งแรกในส่วนของโครงข่ายส่วนบุคคล (Personal Area Network: PAN) โดย Prof. Zimmermann ได้รับการยกย่องในการสร้างสรรค์แนวคิดเรื่องโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ โดยมีพื้นฐานจากงานของเขาที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งแมสซาชูเซตส์ (Massachusetts Institute of Technology: MIT) และที่บริษัทไอบีเอ็ม เขาได้พูดถึง การรวมกันของอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่มีขนาดเล็ก และการเชื่อมต่อการสื่อสารไร้สายระยะสั้น การเชื่อมต่อนั้นถูกสร้างขึ้นผ่านการติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ใกล้เคียงน้อยกว่า 3 เมตร ในปี 2004 โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ ได้อธิบายสภาพแวดล้อมรวมถึงบริเวณที่ใกล้ที่สุดซึ่งก็คือส่วนหนึ่งของร่างกายมนุษย์ รูปที่ 2.11 จะแสดงการเชื่อมต่อโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์กับโครงข่ายภายนอก



รูปที่ 2.11 การเชื่อมต่อโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์กับโครงข่ายภายนอก [27]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขอบเขตของระบบการสื่อสารไร้สายอื่นๆ แสดงดังรูปที่ 3.2 โดยจะเห็นว่าโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ได้นำเสนอวิธีการของการสื่อสารระยะสั้นเพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่อยู่รอบๆ ร่างกายมนุษย์โดยคำนึงถึงความปลอดภัยของร่างกายด้วย โดยสามารถนำมาใช้กับการสื่อสารทางการแพทย์ การดูแลสุขภาพ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในร่างกายมนุษย์



รูปที่ 2.12 เปรียบเทียบระยะการสื่อสารของเทคโนโลยีไร้สาย [28]

ระบบการสื่อสารไร้สายบนร่างกายมนุษย์และระบบการสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล มีเทคโนโลยีและแนวคิดที่ใกล้เคียงกัน แต่อย่างไรก็ตามยังคงมีส่วนที่แตกต่างกันเช่น อุปกรณ์ของสื่อสารไร้สายบนร่างกายมนุษย์ สามารถอยู่บนร่างกายหรือภายในร่างกายมนุษย์ได้โดยมีความปลอดภัยกับอวัยวะและชิ้นส่วนของร่างกายมนุษย์ ในส่วนของข้อสัญญาการสื่อสารไร้สายบนร่างกายมนุษย์ ได้ถูกนำเสนอด้วยคุณลักษณะที่แตกต่างกับการสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล เนื้อเยื่อของร่างกายมนุษย์ที่เป็นตัวกลางซึ่งประกอบไปด้วยไขมัน น้ำ ทำให้การแพร่กระจายถูกลดทอนเร็วกว่าในแบบอวกาศว่าง และรูปแบบของสายอากาศอาจจะมีผลกระทบกับร่างกายมนุษย์ วิศวกรหรือนักออกแบบต้องเผชิญกับงานที่ท้าทายความสามารถในการสร้างหรือออกแบบอุปกรณ์ เช่น ต้องอยู่ในกฎระเบียบข้อบังคับ รูปแบบข้อสัญญา การใช้พลังงานที่ต่ำ ผลกระทบของอุณหภูมิ สายอากาศและการสูญเสียบนร่างกายมนุษย์ การสื่อสารที่มีประสิทธิภาพ อัตราการส่งข้อมูลที่เหมาะสม และมีความน่าเชื่อถือสูง เป็นต้น

2.10 นิยามและข้อกำหนดของโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์

หลังจากประสบความสำเร็จของมาตรฐานโครงข่ายไร้สายส่วนบุคคล (Wireless Personal Area Network: WPAN) WG 15 ของ IEEE 802 จึงได้เริ่มงานวิจัยใหม่ เพราะฉะนั้น WNG SC จึงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถูกจัดตั้งขึ้นมาในปี 2006 โดย WNG SC ได้เลือกรายการเทคโนโลยีที่ต้องการวิจัยจาก WG 15 Member [29] ดังนี้

1. กำลังงานต่ำมากและใช้พลังงานวิทยุอย่างมีประสิทธิภาพ
2. โครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ (Body Area Network: BAN)
3. เทคโนโลยี MIMO สำหรับ WPAN
4. Software-Defined Radio
5. Mobile, Nomadic Mesh Network
6. Heterogeneous WPAN Interoperability and Internet Working
7. Wireless System Coexistence and Dynamic Mitigation Techniques

เทคโนโลยีเหล่านี้ BAN ได้รับความสนใจจากสมาชิกเป็นจำนวนมาก กลุ่มในการเริ่มงานของ BAN มีชื่อว่า an Interest Group of BAN (IG-BAN) ได้ถูกจัดตั้งในปี 2006 ซึ่งโดยปกติแล้วได้รับการอนุมัติจาก IEEE 802 Executive Committee (EC) สำหรับเป็นกลุ่มการศึกษาวิจัย ต่อมาในปี 2007 ได้รับการอนุมัติเป็นกลุ่มงาน (Task Group: TG)

2.10.1 นิยามของโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์

คำนิยามที่สมบูรณ์ของโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ให้โดย TG6 [30] เป็นมาตรฐานสำหรับการสื่อสารไร้สายระยะสั้นในบริเวณรอบๆ หรือด้านในร่างกายมนุษย์ (แต่ไม่จำกัดจำนวนคน) สามารถใช้งานได้กับคลื่นความถี่สาธารณะสำหรับอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และการแพทย์ (Industrial Sciences Medicine: ISM) ซึ่งได้รับการอนุมัติจากหน่วยงานทางการแพทย์นานาชาติและหน่วยงานกำกับดูแล รวมทั้งรองรับคุณภาพการบริการ (Quality of Service: QoS) กำลังงานต่ำมาก อัตราการรับส่งข้อมูล 10 Mbps เป็นข้อเรียกร้องสำหรับคุณสมบัติของ BAN โดยจะต้องไม่มีการแทรกสอดของสัญญาณอื่นๆ มาตรฐานนี้พิจารณาผลกระทบของสายอากาศที่ติดอยู่บนร่างกายมนุษย์ (ทั้งชาย หญิง คนผอม คนอ้วน ฯลฯ) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น อัตราการดูดกลืนพลังงานจำเพาะ (Specific Absorption Rate: SAR) ของเนื้อเยื่อร่างกายที่ได้รับ และพิจารณาคุณลักษณะผลจากการเคลื่อนที่ของร่างกาย

การวิจัยเกี่ยวกับ WBAN เป็นการศึกษาถึงคุณลักษณะของการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากอุปกรณ์ที่อยู่ใกล้กับหรือภายในร่างกายมนุษย์ ความซับซ้อนของโครงสร้างเนื้อเยื่อและรูปร่างของมนุษย์ ทำให้ยากต่อการสร้างแบบจำลองการสูญเสียเชิงวิถีสำหรับ BAN ในขณะที่สายอากาศสำหรับใช้ใน BAN นั้นจะวางอยู่บนพื้นผิวหรือภายในร่างกายมนุษย์โดยจะต้องคำนึงถึงผลกระทบของร่างกายต่อการแพร่กระจายคลื่นวิทยุ ซึ่งสามารถแบ่งประเภทการเชื่อมต่อของแบบจำลองช่องสัญญาณสำหรับ BAN ได้ 3 ประเภท ดังนี้

1. Implant Node: โหนดจะฝังอยู่ด้านในร่างกายมนุษย์
2. Body Surface Node: โหนดจะอยู่บนพื้นผิวของมนุษย์หรือห่างจากพื้นผิวมากที่สุด 2 เซนติเมตร
3. External Node: โหนดมีการเชื่อมต่อจากภายนอกมายังพื้นผิวของมนุษย์ (มีระยะไม่เกิน 5 เมตรจากร่างกายมนุษย์)

สำหรับการสื่อสารบนพื้นผิวร่างกาย (Body Surface Communication) ระยะระหว่างโหนดส่งและโหนดรับควรพิจารณาระยะทางรอบร่างกายด้วย สำหรับการสื่อสารในกรณีที่โหนดส่งหรือรับสัญญาณโหนดใดโหนดหนึ่งอยู่ห่างออกไปจากร่างกาย (External Node) ระยะห่างระหว่าง

สายอากาศส่งและสายอากาศรับสัญญาณควรรอยู่ในบริเวณรอบๆ หรือภายในร่างกายที่ระยะ 3 เมตร แต่ในบางกรณีระยะสูงสุดสำหรับอุปกรณ์ทางการแพทย์สามารถห่างได้ 5 เมตร

ข้อจำกัดกำลังงานสูงสุดสำหรับอุปกรณ์บนร่างกายในทางการแพทย์ควรพิจารณาจากพื้นที่ และข้อกำหนดระหว่างประเทศ [30] ส่วนข้อจำกัดกำลังงานสูงสุดสำหรับ MICS [31 32] เป็นดังนี้

1. European Telecommunications Standards Institute: ETSI กำหนดให้กำลังงานการแพร่กระจายคลื่นสูงสุด 25 uW ERP (Effective Radiation Power)

2. FCC & ITU-R กำหนดให้กำลังงานการแพร่กระจายคลื่นสูงสุด 25 uW EIRP (Effective Isotropic Radiation Power) ซึ่งมีค่าประมาณ 2.2 dB ต่ำกว่าระดับ ERP

ข้อจำกัดกำลังงานการแพร่กระจายคลื่น 25 uW นี้นำไปใช้กับระดับสัญญาณที่อยู่ภายนอก ร่างกายมนุษย์ (ระบบการแพร่กระจายทั้งหมด) แต่ถ้าฝังอยู่ในร่างกายได้อนุญาตให้ระดับกำลังงานสูงขึ้นเพื่อชดเชยการสูญเสียจากร่างกาย โดยมีช่วงความถี่ของอุปกรณ์ที่ฝังอยู่ในร่างกาย 402-405 MHz ได้ระบุรายละเอียดไว้ใน [33]

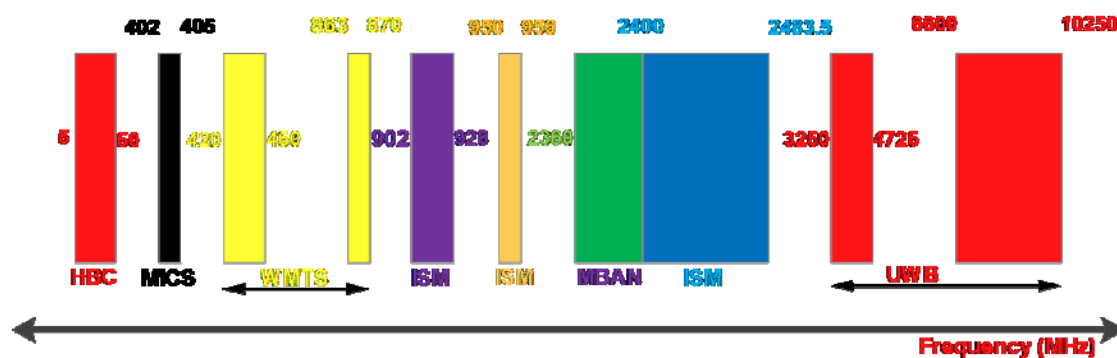
2.10.2 ข้อกำหนดของโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ [34]

TG6 ได้กำหนดขอบเขตที่กว้างขึ้นของการใช้งาน ไม่ใช่แค่เพียงทางการแพทย์และการดูแลสุขภาพอย่างเดียวนั้น แต่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในด้านอื่นๆ อีกมากมาย ข้อกำหนดทางเทคนิคสำหรับโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์จึงมีอยู่หลากหลาย ไม่สามารถนำมา กล่าวได้ทั้งหมด ดังนั้นจะกล่าวเฉพาะข้อกำหนดทางเทคนิคที่สำคัญของ TG6 ดังนี้

1. จำนวนของอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับทางการแพทย์มี 6 โหนด แต่สามารถมีได้ถึง 256 โหนด
2. อัตราเร็วข้อมูลตั้งแต่ 10 kbps ถึง 10 Mbps
3. ช่วงการส่งผ่านไม่เกิน 3 เมตร
4. สามารถทำงาน บนร่างกาย ภายใต้อากาศ หรือบนผิวหนัง
5. ลักษณะช่องสัญญาณจะขึ้นอยู่กับสภาพของร่างกาย เช่น การดูดซึม หรือผลจากสุขภาพ
6. ระดับพลังงานของอุปกรณ์แต่ขึ้นอยู่กับระดับต่ำ 0.1 - 1 mW
7. ใช้พลังงานน้อย
8. รองรับคุณภาพการบริการหรือ Quality of Service (QoS)
9. ความปลอดภัยของข้อมูล เช่น Authentication, Data Integrity and Encryption

2.11 กฎข้อบังคับสำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์

การจัดสรรช่วงความถี่เป็นหนึ่งในสิ่งที่สำคัญที่สุดของกฎข้อบังคับ โดยทั่วไปแล้วความถี่ใช้งานสำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์เป็นข้อกำหนดโดยผู้ออกกฎการสื่อสาร ซึ่งมีความแตกต่างกันในแต่ละประเทศ รูปที่ 2.13 แสดงความถี่บางช่วงที่ใช้งานสำหรับ WBAN ในแต่ละประเทศ ซึ่งมีการจัดสรรช่วงความถี่ดังนี้



รูปที่ 2.13 ช่วงความถี่สำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ [35]

2.11.1 Medical Implanted Communication Service (MICS)

ในปี 1998 กลุ่มงานสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุของสหภาพโทรคมนาคมนานาชาติ (International Telecommunication Union's Radio Sector: ITU-R) กำหนดช่วงความถี่ 402-405 MHz ใช้สำหรับการสื่อสารภายในร่างกาย โดยหลายประเทศใช้ช่วงความถี่เดียวกัน [36] อุปกรณ์ที่ใช้ในช่วงความถี่นี้สามารถรองรับการใช้งานแบนด์วิดท์ได้ 300 kHz แต่ไม่รองรับในเรื่องอัตราการส่งข้อมูลสูง

2.11.2 Industrial Scientific and Medical (ISM)

การใช้งานแถบความถี่สเปกตรัมแต่ก่อนไม่ได้ถูกใช้ในเชิงพาณิชย์ อย่างไรก็ตามปัจจุบันนี้ถูกใช้เป็นมาตรฐานในเชิงพาณิชย์โดยช่วงความถี่ดังกล่าวถูกกำหนดโดย ITU-R [37] ซึ่งประเทศต่างๆ จะมีข้อกำหนดการใช้งานที่แตกต่างกัน อุปกรณ์ที่ใช้ในช่วงความถี่นี้รองรับอัตราการรับส่งข้อมูลสูงและสามารถใช้ได้ทั่วโลก

2.11.3 Wireless Medical Telemetry Services (WMTS)

FCC ได้กำหนดช่วงความถี่ใช้งานใน USA [38] สำหรับวัตถุประสงค์ใช้ในการควบคุมทางไกลสำหรับการรักษาสุขภาพ อย่างไรก็ตามแถบความถี่นี้ไม่สามารถใช้งานได้ในยุโรป

2.11.4 Ultra Wide-Band (UWB)

เป็นระบบการสื่อสารที่ใช้ความถี่มากกว่า 500 MHz ในการสื่อสารแถบความถี่กว้างยิ่งใช้รูปคลื่นพัลส์แคบมากในการส่งข้อมูลข่าวสาร ทำให้มีอัตราการส่งข้อมูลที่สูง FCC ได้กำหนดช่วงความถี่ใช้งานตั้งแต่ 3.1 ถึง 10.6 GHz โดยเริ่มแรกนั้นสามารถใช้งานได้เฉพาะสหรัฐอเมริกาและสิงคโปร์ แต่หลังจากนั้นในปี 2007 ประกาศให้สามารถใช้งานเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งได้ในอังกฤษ

ระบบการสื่อสารไร้สายสามารถใช้งานได้โดยยังไม่มีใบอนุญาต อย่างไรก็ตามการจัดสรรคลื่นความถี่ที่ไม่มีใบอนุญาตจะไม่เหมือนกันทุกประเทศ ในตารางที่ 2.3 แสดงช่วงความถี่ที่อนุญาตใช้งานสำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ (WBANs) และโครงข่ายไร้สายส่วนบุคคล (WPANs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ความถี่ใช้งานสำหรับ WBAN และ WPAN ที่ยังไม่มีใบอนุญาต

Name	Band [MHz]	Max Tx Power [dBm EIRP]	Comment
MICS	402.0-405.0.0	-16	Worldwide
ISM	433.1-434.8	+7.85	Europe
ISM	868.0-868.6	+11.85	Europe
ISM	902.8-928.0	+36 w/spreading	Not in Europe
ISM	2400.0-2483.5	+36 w/spreading	Worldwide
ISM	5725.0-5875.0	+36 w/spreading	Worldwide
WMTS	608.0-614.0	+10.8	US only
WMTS	1395.0-1400.0	+22.2	US only
WMTS	1427.0-1432.0	+22.2	US only
UWB	100.0-960.0		US only
UWB	3100.0-10600.0	-41.3	US, UK and Singapore

2.12 แบบจำลองช่องสัญญาณสำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์

ในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงการจำลองช่องสัญญาณของมาตรฐาน IEEE802.15.6 (Body Area Network: BAN) TG6 ได้พัฒนา BAN สำหรับอุปกรณ์ทางการแพทย์และไม่ใช่ทางการแพทย์ ซึ่งมีตำแหน่งอยู่ภายในหรือบนพื้นผิวของร่างกายมนุษย์ แบบจำลองจะกล่าวถึงคุณลักษณะโดยทั่วไปของการสูญเสียเชิงวิถีของอุปกรณ์บนร่างกาย โดยคำนึงถึงการบดบังอันเนื่องมาจากร่างกายมนุษย์หรือสิ่งกีดขวางบริเวณใกล้เคียง ร่างกายมนุษย์และท่าทางของมนุษย์ ซึ่งมีช่วงความถี่และลักษณะการวัดที่แตกต่างกันดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ช่วงความถี่สำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์

Description	Frequency Band
Implant	402-405
On-Body	13.5MHz
On-Body	5-50 MHz (HBC)
On-Body	400 MHz
On-Body	600 MHz
On-Body	900 MHz
On-Body	2.4 GHz
On-Body	3.1-10.6 GHz

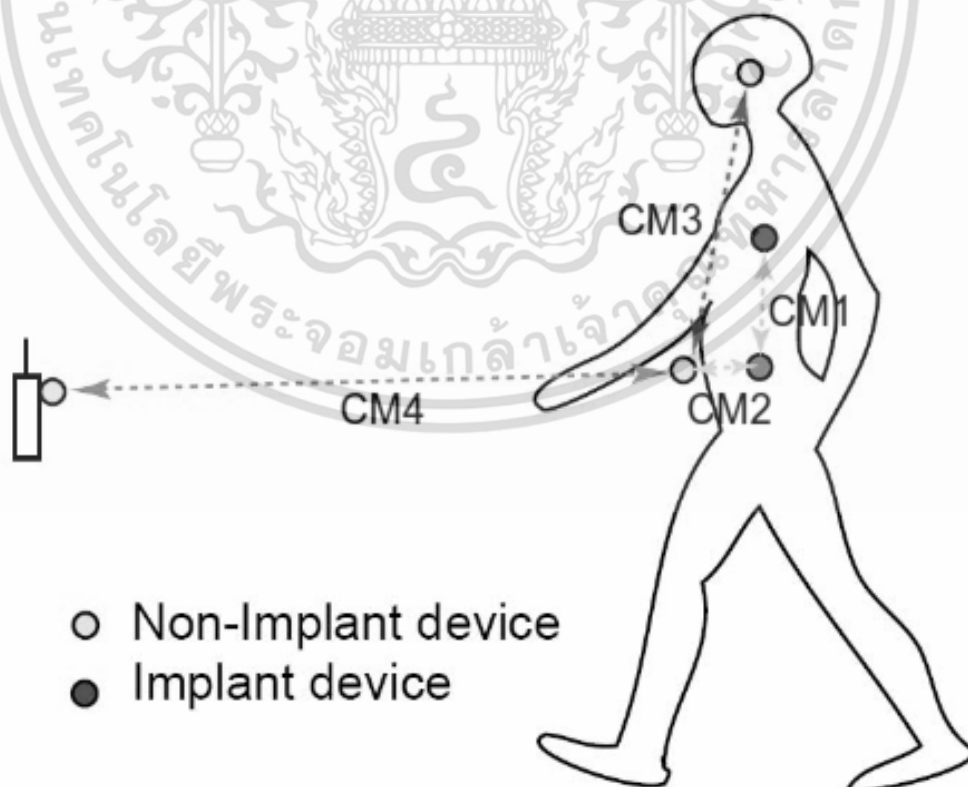
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างของแบบจำลองสำหรับการสื่อสารบนพื้นผิวร่างกายและภายในร่างกายนั้นไม่เหมือนกัน สถานการณ์ต่างๆ ได้ระบุไว้ใน IEEE802.15.6 [39] ซึ่งมีรายละเอียดและช่วงความถี่ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 รูปแบบการสื่อสารไร้สายบนร่างกายมนุษย์

Scenario	Description	Frequency Band	Channel Model
S1	Implant to Implant	402-405 MHz	CM1
S2	Implant to Body Surface	402-405 MHz	CM2
S3	Implant to External	402-405 MHz	CM2
S4	Body Surface to Body Surface (LOS)	13.5, 50, 400, 600, 900 MHz 2.4, 3.1-10.6 GHz	CM3
S5	Body Surface to Body Surface (NLOS)	13.5, 50, 400, 600, 900 MHz 2.4, 3.1-10.6 GHz	CM3
S6	Body Surface to External (LOS)	900 MHz 2.4, 3.1-10.6 GHz	CM6
S7	Body Surface to External (NLOS)	900 MHz 2.4, 3.1-10.6 GHz	CM7

ระยะทางจากอุปกรณ์ภายนอกในร่างกายนั้นสามารถอยู่ห่างจากร่างกายได้มากที่สุด 5 เมตร ลักษณะการเชื่อมต่อการสื่อสารสามารถดูได้จากรูปที่ 2.14

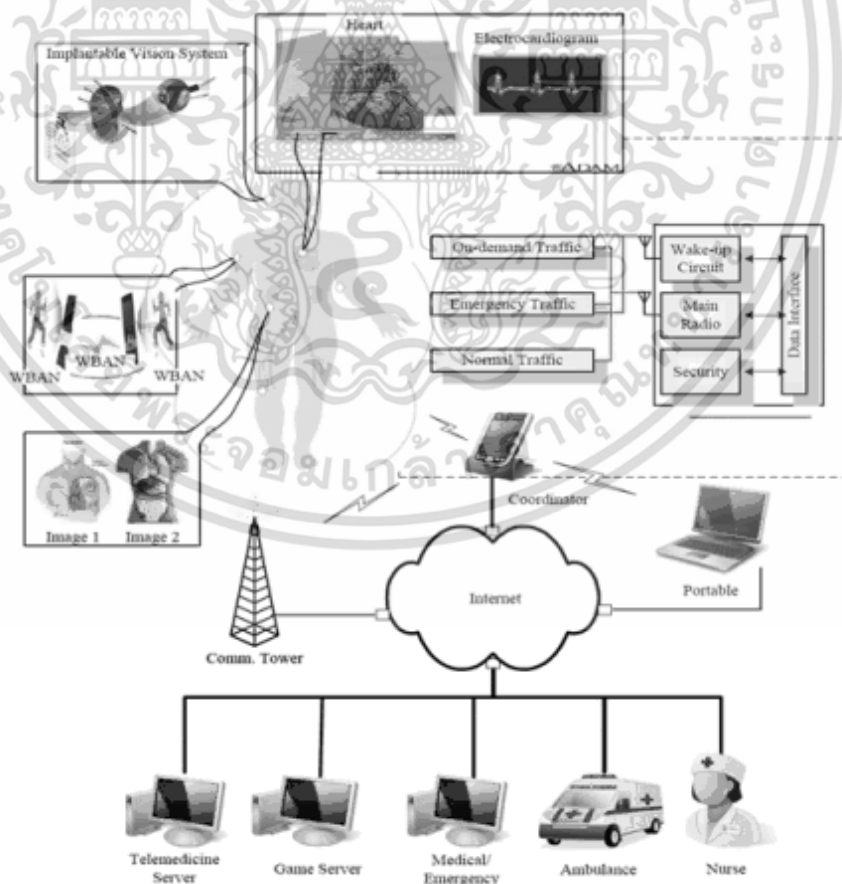


รูปที่ 2.14 รูปแบบการสื่อสารสำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ [39]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13 การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์

ในการประยุกต์ใช้งานของโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์แบบไร้สายโดยส่วนใหญ่จะใช้สำหรับการรักษาดูแลสุขภาพ การตรวจวัดสมรรถนะของร่างกาย การติดตามเฝ้าดูอาการผู้ป่วย โดยจะมีการติดตั้งเซนเซอร์ตำแหน่งต่างๆ ของร่างกายมนุษย์ โดยที่อุปกรณ์ดังกล่าวสามารถส่งสัญญาณข้อมูลกลับมายังผู้ใช้งาน หรือแพทย์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์อาการ หรือเฝ้าระวังอาการของผู้ป่วย เพื่อป้องกันและทำให้ตรวจพบโรคก่อนได้ ในช่วงสองสามปีที่ผ่านมาได้มีการเพิ่มจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดสุขภาพ ตรวจสอบรูปคลื่น ตรวจสอบสิ่งผิดปกติต่างๆ ที่เกิดขึ้น การตรวจวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าหัวใจแบบพกพาที่มีการใช้เซนเซอร์ที่มีราคาแพงและซับซ้อน ถึงแม้จะได้รับการยอมรับในวงกว้างในระบบปัจจุบันก็ตาม แต่ยังคงถูกจำกัดด้วยราคาและการใช้งาน ระบบการตรวจสอบทางการแพทย์ส่วนบุคคลมีการใช้เพื่อเก็บข้อมูลเพียงอย่างเดียว ส่วนการประมวลผลและการวิเคราะห์นั้นถูกดำเนินการแบบออฟไลน์ ทำให้อุปกรณ์ใช้งานได้ไม่ต่อเนื่องและอาจทำให้มีความผิดปกติในการตรวจสอบทางการแพทย์ ระบบที่ประกอบไปด้วยเซนเซอร์จำนวนมากเพื่อใช้ในการฟื้นฟูสภาพร่างกายมีการเชื่อมต่อสายไฟระหว่างตัวเซนเซอร์กับระบบตรวจสอบ สายไฟดังกล่าวอาจทำให้ผู้ป่วยไม่สามารถทำกิจกรรมบางอย่างได้อย่างสะดวกสบาย ส่งผลทำให้มีผลกระทบกับข้อมูลที่วัดได้ และเหตุผลนี้เองทำให้มีการสร้างระบบตรวจสอบสุขภาพร่างกายแบบไร้สายซึ่งใช้ในระบบ WBAN เป็นต้น ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 การนำเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ [38]

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีการประยุกต์ใช้งานมากมายและมีการใช้รูปแบบที่ช่วยให้มีความสะดวกสบายมากขึ้นโดยการใช้ WBAN ดังรูปที่ 2.16 แสดงถึงการประยุกต์ใช้งานในการช่วยเหลือผู้ที่มีความพิการทางสายตา เครื่องมือตรวจวัดได้ถูกติดกับสิ่งของต่างๆ ของผู้ที่มีความพิการทางสายตา จากนั้นต้องมีการกำหนดค่าเริ่มต้นของระยะห่างของเครื่องมือตรวจวัดกับเครื่องรับสัญญาณ หากผู้พิการทางสายตาสัมผัสสิ่งของไว้หรืออยู่ห่างจากค่าที่ได้กำหนดไว้ เครื่องรับสัญญาณจะส่งสัญญาณเตือน นอกจากนี้ยังมีกล้องที่ติดกับผู้พิการทางสายตา เช่น แว่นตา หรือไม้เท้า ภาพวิดีโอจะถูกถ่ายโดยกล้องและถูกส่งไปยังเครื่องรับที่ติดอยู่ที่ผู้พิการทางสายตา โดยภาพที่ถ่ายได้จะถูกแปลงให้เป็นเสียง เพื่อนำทางให้กับผู้พิการทางสายตา หลักการที่คล้ายคลึงกันสามารถนำมาใช้ช่วยเหลือผู้พิการด้านการพูด โดยใช้เซนเซอร์ที่ติดที่มือ เพื่อหาการเคลื่อนไหวของมือ โดยข้อมูลที่รับจากเซนเซอร์จะถูกเปลี่ยนให้เป็นเสียงพูด



รูปที่ 2.16 ลักษณะการประยุกต์ในการช่วยเหลือผู้พิการทางสายตา [39]

จากที่กล่าวในข้างต้น เทคโนโลยีโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์เป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่กำลังเป็นที่สนใจและการพัฒนาอย่างรวดเร็วและจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการใช้งานในชีวิตประจำวัน สามารถใช้งานได้หลากหลาย การเข้าใจหลักการและกฎข้อบังคับในการประยุกต์ใช้งานจะช่วยให้สามารถใช้งานได้เหมาะสม และยังสามารถวิจัยจากลักษณะการใช้งานในรูปแบบต่างๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานระบบโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงประวัติความเป็นมาของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน หลักการพื้นฐานของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง จุดเด่นของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง รวมถึงการกำหนดกฎเกณฑ์ในการใช้งาน ข้อบังคับต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นช่วงความถี่ที่ใช้งานซึ่งจะสัมพันธ์กับแบนด์วิดท์ของระบบ ระดับกำลังงานที่แพร่กระจายทั้งภายในและภายนอกอาคาร ที่กำหนดโดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา รวมถึงรูปแบบของสัญญาณที่จะนำมาใช้ในระบบแถบกว้างยิ่งที่ได้แบ่งตามประเภทต่างๆ เป็นต้น นอกจากนี้ยังได้กล่าวถึงมาตรฐานของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งและการประยุกต์ใช้งานของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง ซึ่งเป็นองค์ความรู้เบื้องต้นของการประยุกต์ใช้ในโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ ซึ่งประกอบด้วย นิยามและข้อกำหนดของโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ กฎข้อบังคับสำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ มาตรฐานต่างๆ ที่แต่ละประเทศออกข้อกำหนดในการใช้งานที่ยานความถี่ต่างๆ รวมทั้งรูปแบบการสื่อสารของโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ แบบจำลองช่องสัญญาณสำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ และการประยุกต์ใช้งานของโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ช่องสัญญาณ โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์

3.1 กล่าวนำ

ในบทนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์แบบกว้างยิ่ง ด้วยหลักการวิเคราะห์การสื่อสารไร้สายแบบแบบกว้างยิ่ง ซึ่งในการสื่อสารไร้สายนั้นจำเป็นต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆ ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณ โดยเฉพาะผลกระทบจากสภาวะแวดล้อมที่มีลักษณะซับซ้อนมากกว่าสภาวะแวดล้อมอื่นๆ ซึ่งผลกระทบจะแสดงมาในรูปแบบ ค่าการสูญเสียเชิงวิถี ภาพตัดขวางประวิงกำลังงาน เป็นต้น โดยกระบวนการทดลองจะทำการส่งสัญญาณจากภาคส่งไปยังภาครับบนสภาวะแวดล้อมบนร่างกาย จากนั้นเก็บค่าผลการทดลองวัดไปทำการ จากนั้นนำมาวิเคราะห์ทางโปรแกรมโดยใช้ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องร่วมด้วย ดังนั้นในขั้นตอนการวัดมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทำความเข้าใจพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องและเชื่อถือได้ ได้แสดงทฤษฎีและอธิบายหลักการวิเคราะห์ไว้ในบทนี้

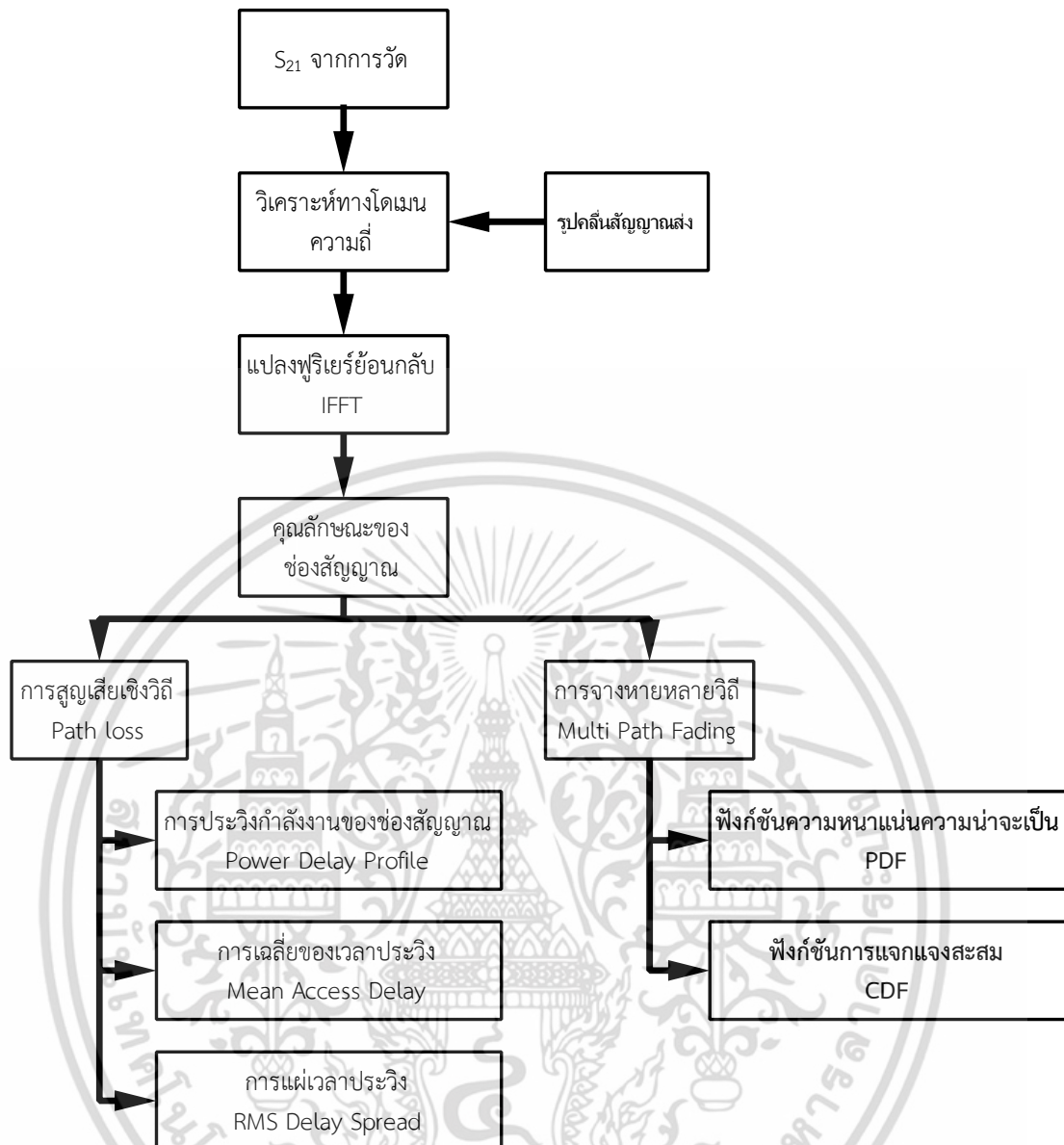
3.2 แบบแผนการทดลอง

แบบแผนในการทดลองเป็นการจำลองแบบการวัดและทดลองตามมาตรฐาน IEEE802.15.6 ซึ่งงานวิจัยฉบับนี้ได้เสนอการประเมินผลการวัดการส่งผ่านของรูปคลื่นแบบกว้างยิ่งบนโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ เพื่อศึกษาคุณลักษณะของช่องสัญญาณภายใต้สภาวะแวดล้อมที่กำหนดขึ้น โดยในการทดลองนี้ต้องการที่จะตรวจสอบถึงผลกระทบจากช่องสัญญาณโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร ซึ่งสิ่งที่ได้จากการทดลองนั้นคือฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณที่ประกอบด้วยผลกระทบของสายอากาศเข้าไปด้วย จากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองนี้ไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อให้ทราบถึงผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น โดยแสดงในพารามิเตอร์ต่างๆ คือ การสูญเสียเชิงวิถี การจางหายหลายวิถี การประวิงกำลังงาน ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นและฟังก์ชันการแจกแจงสะสม โดยรูปที่ 3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมด

3.3 รูปคลื่นสัญญาณต้นแบบที่ใช้ในการสังเคราะห์

ในระบบการสื่อสารแบบกว้างยิ่งใช้สัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณในการส่ง แต่สัญญาณพัลส์สำหรับตัวระบบนั้นยังไม่มีข้อกำหนดที่ตายตัวที่จะใช้รูปแบบพัลส์แบบใด ดังนั้นจึงมีวิธีการเลือกสัญญาณพัลส์ต้นแบบที่เหมาะสมกับระบบการสื่อสารแบบกว้างยิ่ง โดยเลือกจากคุณสมบัติของพัลส์ เช่น ความกว้างของสัญญาณ ข้อกำหนดของคณะกรรมการแห่งสหรัฐอเมริกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมสำหรับการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์จากการทดลอง

ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกสัญญาณรูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมและสัญญาณรูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของไรซ์โคซายน์ เป็นสัญญาณต้นแบบในการสังเคราะห์ สัญญาณรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมเป็นสัญญาณในอุดมคติ ครอบคลุมแบนด์วิดท์ทั้งหมดของย่านความถี่สัญญาณแถบกว้างยิ่ง ซึ่งเมื่อนำมาใช้จะสามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพได้สูงสุด ส่วนสัญญาณรูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของไรซ์โคซายน์เป็นสัญญาณที่สามารถสร้างได้จริง ซึ่งถูกออกแบบมาใช้สำหรับระบบแถบกว้างยิ่งช่วงความถี่ร่วม จึงได้มีการมาใช้ในการวิเคราะห์เนื่องจากสัญญาณมีความใกล้เคียงสัญญาณรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมมากที่สุดและสามารถนำมาใช้งานได้จริงในระบบการสื่อสาร ซึ่งสัญญาณรูปคลื่นสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

3.3.1 สัญญาณรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม (Rectangular Passband Waveform) [40-43]

สัญญาณรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมจะมีรูปแบบของคลื่นในขอบเขตของเวลา ดังนี้

$$v(t) = \frac{A}{f_b} [f_H \text{sinc}(2f_H t) - f_L \text{sinc}(2f_L t)] \quad (3.1)$$

โดยที่ A คือ ค่าแอมพลิจูดที่มีค่ามากที่สุด

f_b คือ แบนด์วิดท์ที่ถือครอง

f_c คือ ความถี่กลาง $f_L = f_c - f_b/2$ และ $f_H = f_c + f_b/2$ คือ ค่าความถี่ที่ต่ำสุด และความถี่ที่มากที่สุด ตามลำดับ

sinc คือ $\frac{\sin(\pi x)}{\pi x}$

โดยในงานวิจัยนี้ได้กำหนดแถบความถี่ตามมาตรฐาน IEEE802.15.6 ช่วงแถบความถี่ต่ำ โดยแอมพลิจูด $A=1V$ ช่วงความถี่ต่ำสุด $f_L=3.25$ GHz. และช่วงความถี่สูงสุด $f_H=4.75$ GHz. แบนด์วิดท์ $f_b=f_H-f_L$ ดังนั้น $f_b=4.75-3.25=1.5$ GHz.

รูปแบบของพัลส์นี้มีขนาดของความหนาแน่นสเปกตรัมคงที่ $A/2(f_b)$ ในช่วงความถี่ $-f_H$ ถึง $-f_L$ และในช่วง f_L ถึง f_H มีพื้นที่ความหนาแน่นของสเปกตรัมเท่ากับ A เมื่อรูปแบบของคลื่น A ที่ตำแหน่ง $t=0$ โดยสามารถแสดงในรูปสมการได้ดังนี้

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

3.3.2 สัญญาณรูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของโรซโคไซน์ (Root Raised Cosine Waveform) [44]

สัญญาณรูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของโรซโคไซน์มีรูปแบบของคลื่นในขอบเขตของเวลา ดังนี้

$$V_{t,ro}(f) = \begin{cases} 1 & \|f - f_c\| \leq \frac{1-\beta}{2T} \\ A & \frac{1-\beta}{2T} < \|f - f_c\| < \frac{1+\beta}{2T} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.3)$$

โดยที่ A คือ ค่าแอมพลิจูดที่มีค่ามากที่สุด

f_c คือ ความถี่กลาง $f_L = f_c - f_b/2$ และ $f_H = f_c + f_b/2$ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความถี่ที่ต่ำสุด และความถี่ที่มากที่สุด ตามลำดับ
 β คือค่าตัวประกอบโรลออฟ (roll-off factor) มีค่า 0.3
 โดยที่แอมพลิจูด A สามารถหาได้จาก

$$A = \sqrt{\frac{1}{2} \left[1 + \cos \left(\frac{\pi T}{\beta} \left[|f| - f_c - \frac{1-\beta}{2T} \right] \right) \right]} \quad (3.4)$$

โดยที่ f_b คือ แบนด์วิดท์ที่ถือครอง
 $T = 1/f_b$ คือส่วนกลับของอัตราสัญลักษณ์

3.4 แบบจำลองการสูญเสียเชิงวิถี [45]

การสูญเสียเชิงวิถีเป็นคุณลักษณะการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและถูกนำมาใช้ในการออกแบบระบบ โดยปกติการหาค่าสูญเสียเชิงวิถีในทางทฤษฎีและการวัดแสดงให้เห็นว่ากำลังเฉลี่ยของสัญญาณจะลดลงแบบแปรผันตรงกับของระยะทาง การสูญเสียเฉลี่ยที่ระยะทาง d สามารถกำหนดเป็นฟังก์ชันของระยะทางได้ดังนี้

$$\overline{PL}(d) \propto \left(\frac{d}{d_0} \right)^n \quad (3.5)$$

หรือ

$$\overline{PL}(d)[dB] = \overline{PL}(d_0)[dB] + 10n \log \left(\frac{d}{d_0} \right) \quad (3.6)$$

โดยที่ n คือ เลขยกกำลังการสูญเสียเชิงวิถี ซึ่งแสดงถึงอัตราการสูญเสียเชิงวิถีที่เพิ่มขึ้นตามระยะทาง
 d_0 คือ ระยะทางอ้างอิง

ค่าความสูญเสียกำลังงานเฉลี่ยของสัญญาณ PL_a สามารถหาได้จากการแพร่กระจายผ่านช่องสัญญาณโดยพิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างระดับกำลังงานที่ใช้ส่งและระดับกำลังงานที่รับได้ แสดงดังในสมการ

$$PL_a = 10 \log \left[\frac{\int_{-\infty}^{\infty} |V_t(f)|^2 df}{\int_{-\infty}^{\infty} |V_r(f)|^2 df} \right] \quad (3.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในการวิเคราะห์การสูญเสียของกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่งยวด จะพิจารณาที่กำลังงานสูงสุดของสัญญาณที่ส่งและกำลังสูงสุดของสัญญาณที่รับได้โดยมีนิยามเป็นไปตามสมการ

$$PL_p = 10 \log \left\{ \frac{\max[v_t^2(t)]}{\max[v_r^2(t)]} \right\} \quad (3.8)$$

3.5 แบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้น

กำหนดให้มีข้อมูลอยู่ทั้งหมด M พิกัด

$$(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_M, y_M) \quad (3.9)$$

แบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นเป็นการหาฟังก์ชันเส้นตรงที่ผ่านพิกัดข้อมูลแล้วมีค่าผิดพลาดของกำลังสองน้อยที่สุด มีนิพจน์ทั่วไปทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$y = a + bx \quad (3.10)$$

โดยที่ a และ b คือ ค่าคงที่ ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ของแบบจำลองเพื่อให้มีค่าผิดพลาดของกำลังสองน้อยที่สุด โดยค่าผิดพลาดกำลังสองทั้งหมด e หาได้จาก

$$e = \sum_{j=1}^M (y_j - a - bx_j)^2 \quad (3.11)$$

การทำให้อยู่ในเงื่อนไขของค่าผิดพลาดกำลังสองน้อยที่สุดนั้น ทำได้โดยการหาอนุพันธ์ย่อยของค่าผิดพลาดกำลังสองทั้งหมดเทียบกับพารามิเตอร์ a และ b ตามลำดับ จากนั้นกำหนดให้เท่ากับ 0 จะได้ว่า

$$\frac{\partial e}{\partial a} = -2 \sum_{j=1}^M (y_j - a - bx_j) = 0 \quad (3.12)$$

$$\frac{\partial e}{\partial b} = -2 \sum_{j=1}^M x_j (y_j - a - bx_j) = 0 \quad (3.13)$$

จัดรูปใหม่ให้เป็นระบบสมการเชิงเส้นสองตัวแปรได้ดังนี้

$$an + b \sum_{j=1}^M x_j = \sum_{j=1}^M y_j \quad (3.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$a \sum_{j=1}^M x_j + b \sum_{j=1}^M x_j^2 = \sum_{j=1}^M x_j y_j \quad (3.15)$$

นั่นคือ ค่าพารามิเตอร์ a และ b ของแบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นสามารถหาได้จากการแก้สมการระบบเชิงเส้นสองตัวแปร

3.6 แบบจำลองการจางหายหลายวิถี [45]

การสื่อสารไร้สายนั้นสัญญาณที่รับได้จะมีมากกว่าหนึ่งวิถีขึ้นอยู่กับสถานะแวดล้อม โดยที่ทิศทางของสัญญาณแต่ละวิถีนั้นจะแตกต่างกันไป ซึ่งเป็นผลมาจากการผ่านสถานะแวดล้อมที่แตกต่างกันทำให้เฟสและแอมพลิจูดต่างกันด้วย ดังนั้นสัญญาณที่รับได้จะเป็นผลรวมของสัญญาณแต่ละวิถีซึ่งจะมีเฟส แอมพลิจูดและทิศทางที่มาถึงเป็นแบบสุ่ม ส่วนประกอบทั้งหมดนี้จะรวมกันเป็นเวกเตอร์ แต่จะเกิดการจางหายหลายวิถี คือ เมื่อระยะทางมีการเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย ระดับสัญญาณที่รับได้จะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นๆ ลงๆ โดยไม่รวมการลดทอนของระดับสัญญาณตามระยะทางการสูญเสียเชิงวิถี (PL) ในหน่วย dB ซึ่งสามารถเขียนอยู่ในเทอมของการสูญเสียเฉลี่ยบวกกับพารามิเตอร์การจางหายหลายวิถีได้ดังนี้

$$PL(d)[dB] = \overline{PL}(d)[dB] + X_\sigma \quad (3.16)$$

โดยที่ X_σ คือ พารามิเตอร์การจางหายหลายวิถี ซึ่งเป็นตัวแปรสุ่มที่มีค่าเฉลี่ยเป็น 0 และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น σ ซึ่งในงานทดลองวิจัยนี้ได้แสดงคุณสมบัติการกระจายของการจางหายหลายวิถีโดยนำเสนอในรูปแบบของแบบจำลองทางสถิติ

3.7 แบบจำลองเชิงสถิติ [45]

3.7.1 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น (Probability density function: PDF)

ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น (PDF) นิยามเป็นอนุพันธ์ของความน่าจะเป็นที่ตัวแปรสุ่ม X มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าที่กำหนด x สามารถเขียนในรูปนิพจน์ทางคณิตศาสตร์ได้ว่า

$$f_x(x) = \frac{d}{dx} P\{X \leq x\} \quad (3.17)$$

ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น (PDF) เป็นฟังก์ชันต่อเนื่องที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0 และมีพื้นที่ใต้กราฟทั้งหมดเท่ากับ 1 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น (PDF) จะสัมพันธ์กับตัวแปรสุ่มผ่านทางค่าเฉลี่ย μ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\mu = \int_{-\infty}^{\infty} x f_x(x) dx = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (3.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu)^2 f_x(x) dx} \\ &= \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}\end{aligned}\quad (3.19)$$

3.7.2 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative distribution function: CDF) [46]

ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative distribution function: CDF) นิยามเป็นความน่าจะเป็นที่ตัวแปรสุ่ม X มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าที่กำหนด x ซึ่งมีค่าเท่ากับการอินทิเกรตฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น (PDF) สามารถเขียนในรูปนิพจน์ทางคณิตศาสตร์ได้ว่า

$$F_x(x) = P\{X \leq x\} = \int_{-\infty}^x f_x(\tau) d\tau \quad (3.20)$$

ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative distribution function: CDF) จะเป็นฟังก์ชันต่อเนื่องที่มีคุณสมบัติเป็นฟังก์ชันเพิ่ม จะมีค่าเป็น 0 เมื่อ x มีค่าเข้าสู่ $-\infty$ และจะมีค่าเป็น 1 เมื่อ x มีค่าเข้าสู่ ∞

3.8 การประวิงกำลังงานของช่องสัญญาณ (Power delay profile) [46]

ค่าพารามิเตอร์ที่เรียกว่าการประวิงกำลังงานของช่องสัญญาณ เป็นพารามิเตอร์อีกตัวหนึ่งที่นิยมนำมาวิเคราะห์เพื่อแสดงให้เห็นถึงระดับกำลังงานของสัญญาณที่เข้ามายังภาครับที่เวลาต่าง ๆ อีกทั้งยังแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของสัญญาณที่มีการสะท้อนของสัญญาณในหลายทิศทางหรือที่เรียกว่าสัญญาณหลายวิถี โดยจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างระดับกำลังงานของสัญญาณที่รับได้ต่อเวลาที่เข้ามาถึงและนอกจากนั้นยังสามารถนำไปพิจารณาถึงผลการกระจายทางเวลา (Time dispersion) อันประกอบไปด้วยค่าเฉลี่ยของเวลาประวิง (Mean excess delay) และค่าการแผ่ของเวลาประวิง (RMS delay spread) ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้เสนอส่วนขั้นตอนของการตรวจสอบผลกระทบจากร่างกายนั้น เราได้พิจารณาถึงเวลาที่ถูกลื่นออกไปของสัญญาณที่เข้ามายังภาครับ และกำลังงานที่ถูกลดทอนลง ซึ่งในส่วนของการประวิงกำลังงานของช่องสัญญาณซึ่งค่าพารามิเตอร์นี้จะเป็นส่วนหนึ่ง que แสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากร่างกาย โดยค่าการประวิงกำลังงานของช่องสัญญาณ ได้นิยามไว้ดังนี้

$$P_{(\tau)} = |h(t, \tau)|^2 \quad (3.21)$$

โดยที่ $h(t, \tau)$ คือ ผลตอบสนองสัญญาณอิมพัลส์ (Channel impulse response)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9 การเฉลี่ยของเวลาประวิง (Mean excess delay: τ_m) และการแผ่เวลาประวิง (RMS delay spread: τ_{rms}) [46]

ค่าเฉลี่ยของเวลาประวิงและค่าการแผ่เวลาประวิง เป็นตัวแปรในช่องสัญญาณแบบหลายวิถี ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก ค่าการประวิงกำลังงานของช่องสัญญาณโดยค่าเฉลี่ยของเวลาประวิงและค่าการแผ่เวลาประวิง เป็นค่าที่แสดงถึงคุณภาพของช่องสัญญาณ โดยค่าเฉลี่ยของเวลาประวิงสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.22

$$\tau_m = \frac{\int_0^{\infty} \tau |h(\tau)|^2 d\tau}{\int_0^{\infty} |h(\tau)|^2 d\tau} \quad (3.22)$$

โดยที่ $h(\tau)$ คือ ผลตอบสนองอิมพัลส์ของช่องสัญญาณ

τ คือ เวลาประวิงที่เกิดขึ้นของสัญญาณ

ค่าการแผ่เวลาประวิงนั้นหมายถึงค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐานช่วงเวลาที่เราล่าช้าของสัญญาณที่สะท้อนจากพื้นหรือสะท้อนจากสภาพแวดล้อมเป็นสัดส่วนกับพลังงานของสัญญาณที่เกิดสะท้อนดังสมการที่ 3.23

$$\tau_{rms} = \sqrt{\frac{\int_0^{\infty} (\tau - \tau_m)^2 |h(\tau)|^2 d\tau}{\int_0^{\infty} |h(\tau)|^2 d\tau}} \quad (3.23)$$

3.8 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ช่องสัญญาณโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์แถบกว้างยิ่ง ในส่วนของทฤษฎีการวิเคราะห์ช่องสัญญาณการส่งผ่าน โดยพิจารณาพารามิเตอร์มาทำการประมวลผลตามทฤษฎีแบบจำลองการสูญเสียเชิงวิถีแบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นและแบบจำลองเชิงสถิติ ซึ่งสำคัญอย่างมากในการวิเคราะห์ เนื่องจากผลกระทบจากสภาวะแวดล้อมจากร่างกายนั้นมีความซับซ้อน ซึ่งจากแบบแผนการวิเคราะห์ช่องสัญญาณการส่งผ่านได้นำไปใช้กับข้อมูลที่ได้จากการวัดตามแบบจำลองในบทที่ 4 และได้แสดงผลการวัดและการวิเคราะห์ไว้เ็นบทที่ 5

บทที่ 4

การวัดและขั้นตอนการทดลอง

4.1 กล่าวนำ

งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งเพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้พิจารณาแบบแผนการทดลองวิจัย การออกแบบรูปแบบการวัดในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร ซึ่งเป็นลักษณะที่ใช้งานจริงเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องมากที่สุดและได้ผลการวัดที่มีประสิทธิภาพ เทคโนโลยีการสื่อสารแถบกว้างยิ่งเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความสนใจมากเนื่องจากสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้เป็นอย่างดี ทั้งในด้านอัตราความเร็วในการส่งข้อมูลสูง มีช่องความจุสัญญาณสูง อีกทั้งยังใช้กำลังงานในการส่งต่ำ และต้นทุนการผลิตที่ต่ำ ซึ่งเหมาะสมอย่างยิ่งต่อการนำมาใช้งานสำหรับเทคโนโลยีโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ จึงมีความจำเป็นสำหรับการศึกษาถึงประสิทธิภาพในการสื่อสารข้อมูล และการวิเคราะห์พารามิเตอร์เพื่อแก้ปัญหาในการสูญเสียในการส่งผ่านสัญญาณ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอแบบแผนการทดลองวิจัยการศึกษาประสิทธิภาพการส่งผ่านแบบแถบกว้างบนโครงข่ายร่างกายมนุษย์ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ในการทดลองวัดสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร จากนั้นนำผลที่ได้จากการวัดไปทำการวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ที่สำคัญดังในทฤษฎีบทที่ 3 ซึ่งในบทนี้ได้นำเสนอบล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการทดลอง รูปแบบสัญญาณส่งที่ใช้ในการทดลอง แบบจำลองการทดลองวิจัยในรูปแบบต่างๆ เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองวิจัย สายอากาศที่ใช้ในการทดสอบ และพารามิเตอร์สำคัญต่างๆ ที่กำหนดสำหรับการทดลองวิจัย ซึ่งได้อธิบายไว้ในเนื้อหาบทนี้

4.2 แบบแผนการทดลองวิจัย

แบบแผนในการมีส่วนประกอบที่สามารถอธิบายเป็นขั้นตอนนี้ได้ดังต่อไปนี้



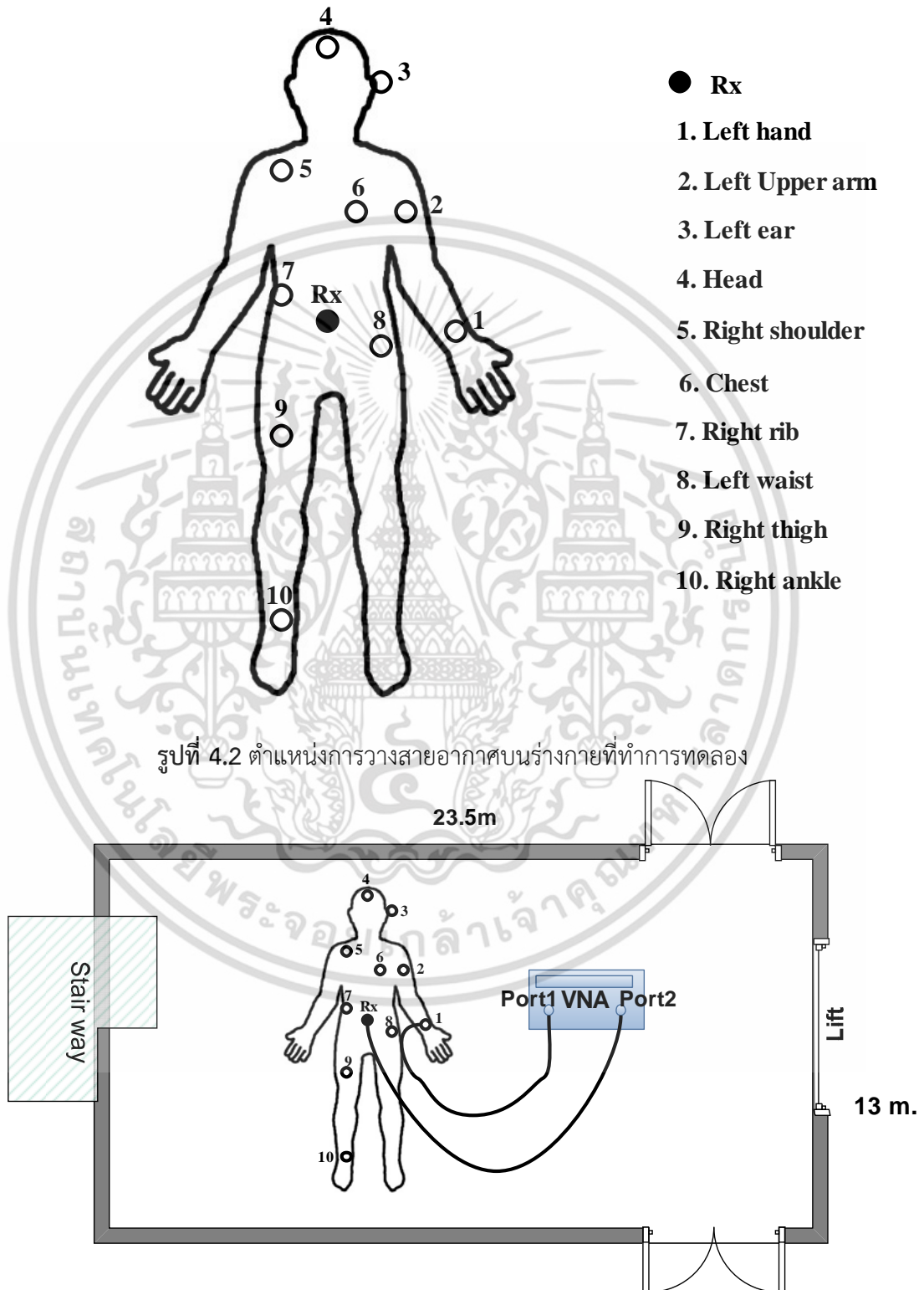
รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการทดลองวัด

4.2.1 ฟังก์ชันถ่ายโอนของสายอากาศและรูปแบบของการวัด

การติดตั้งอุปกรณ์จะมีจุดที่ทดลองทั้งหมด 10 ตำแหน่งบนร่างกายมนุษย์ ซึ่งตำแหน่งต่างเป็นไปดังในรูปที่ 4.2 และการทดลองและการวัดฟังก์ชันการถ่ายโอนของสัญญาณได้กระทำขึ้นที่ชั้น 3 อาคาร 12 ชั้น หน้าลิฟท์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในสภาพแวดล้อมภายในอาคาร โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ ดังแสดงในรูปที่

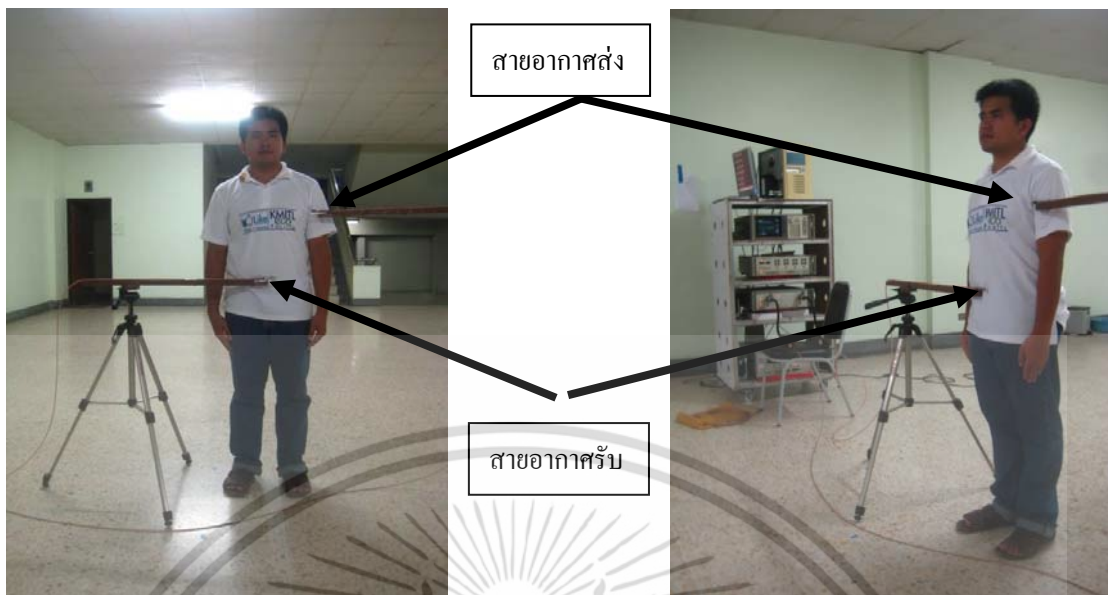
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์จะมีความทำงานอยู่ในโหมดที่ตอบสนองความถี่ โดยที่พอร์ตที่หนึ่งต่ออยู่กับสายอากาศทางด้านส่งซึ่งจะเลื่อนไปตามตำแหน่งต่างบนร่างกายและพอร์ตที่สองต่ออยู่กับสายอากาศทางด้านรับซึ่งอยู่บริเวณกึ่งกลางของร่างกาย



รูปที่ 4.3 แบบจำลองการติดตั้งเครื่องมือสำหรับการทดลองวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การเชิงในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เห็นเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 การติดตั้งเครื่องมือสำหรับการทดลองวัด

รูปที่ 4.4 เป็นลักษณะการติดตั้งสายอากาศในการทดลองวัดจริงที่สภาวะแวดล้อมภายในอาคารซึ่งจะแสดงรูปแบบการติดตั้งสายอากาศบนร่างกายของสายอากาศส่งและสายอากาศรับ ซึ่งสายอากาศทั้งสองต่อเข้ากับเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์

4.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองวิจัย

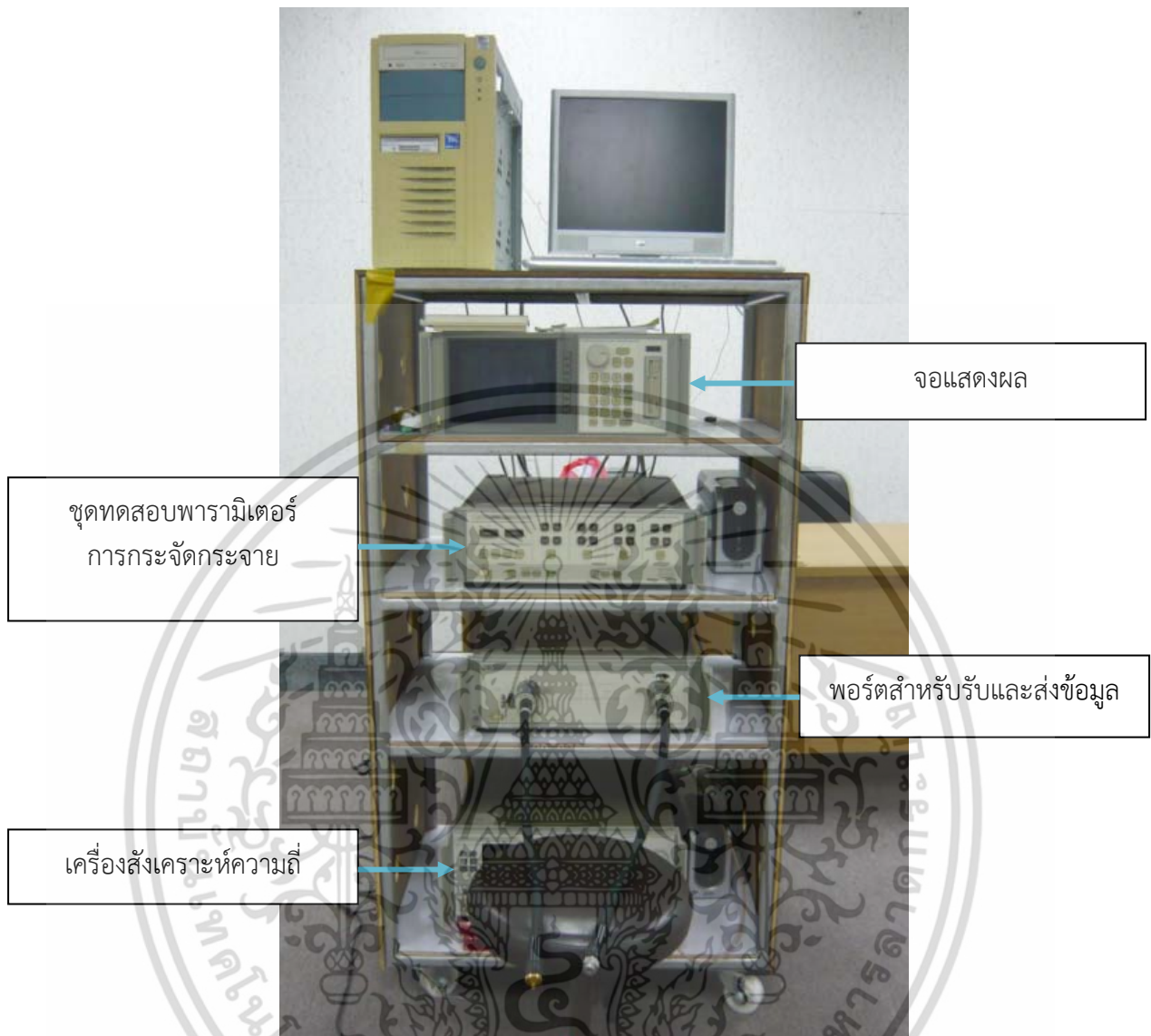
4.2.2.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์

ในการวัดช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนั้นจะใช้เครื่องวัดเฉพาะทางอันประกอบไปด้วย

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

ซึ่งแสดงดังรูป 4.5 โดยจะมีการเชื่อมต่อของเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายกับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่เชื่อมต่อผ่านช่องสื่อสารแบบ GPIB (General purpose interface bus) ซึ่งอุปกรณ์ชุดนี้จะมีคุณสมบัติที่สามารถตรวจวัดสัญญาณในโดเมนความถี่โดยจำลองการส่งสัญญาณผ่านการรับส่งได้ทั้งแบบหนึ่งพอร์ตและสองพอร์ต ซึ่งในการทดลองนี้จะทำการตรวจวัดแบบสองพอร์ต โดยพอร์ตที่หนึ่งคือ พอร์ตที่ใช้ในการส่งสัญญาณต่อเข้ากับสายอากาศส่ง และพอร์ตที่สองคือ พอร์ตที่ใช้ในการรับสัญญาณต่อเข้ากับสายอากาศด้านรับ ซึ่งระหว่างทำการทดลองจะทำการบันทึกข้อมูลลงในเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล และหลังจากการทดลองแล้วจะนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.5 ชุดเครื่องวัดวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์

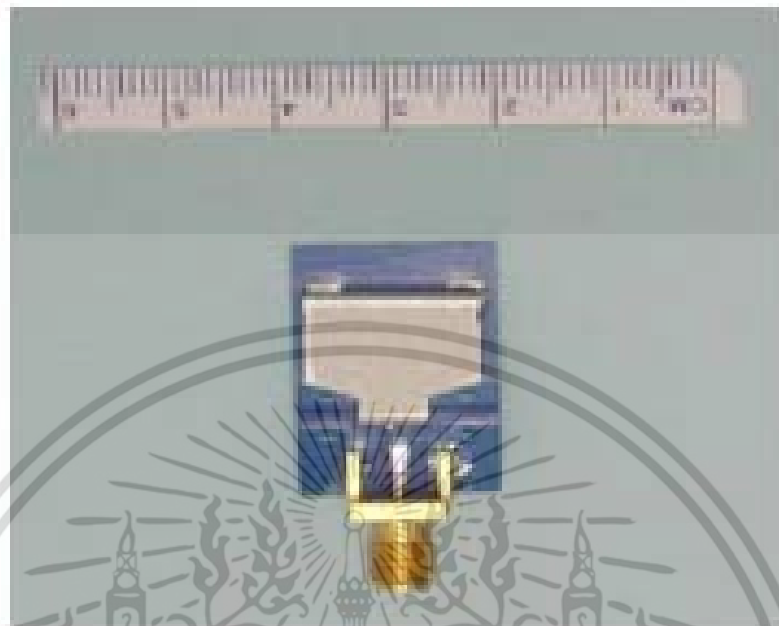
4.2.2.2 สายอากาศที่ใช้ในการทดลองวิจัย

ในการส่งสัญญาณแบบไร้สายนั้นจำเป็นต้องมีสายอากาศ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญ และมีความจำเป็นมากในการทดลองจะต้องใช้ทั้งทางด้านส่งและด้านรับ โดยสายอากาศมีหน้าที่ในการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าจากเครื่องส่งให้เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแพร่กระจายคลื่นผ่านอากาศไปยังสายอากาศด้านรับแล้วเปลี่ยนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่รับได้มาเป็นสัญญาณไฟฟ้าตามเดิม

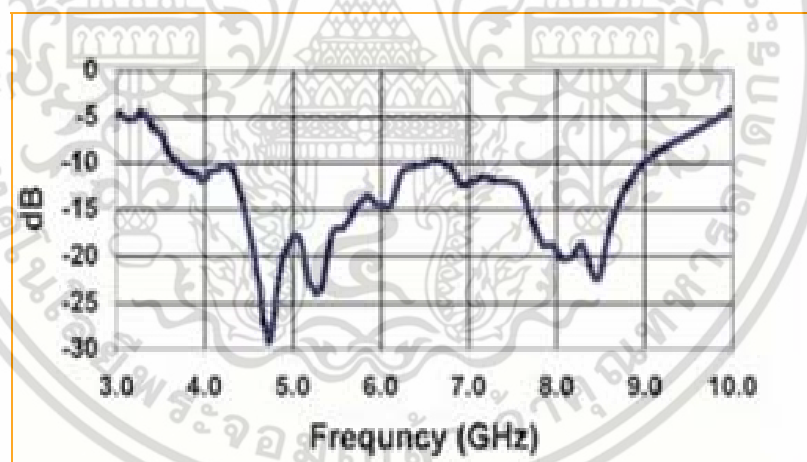
สายอากาศที่เลือกนำมาใช้ในการทดลองคือสายอากาศแบบเส้นคดตัวนำกลาง (Meander line antenna) เป็นสายอากาศแบบแถบกว้างสามารถใช้ทำการทดลองได้ ซึ่งคุณสมบัติของสายอากาศครอบคลุมช่วงความถี่ที่ทำการทดลอง โดยโครงสร้างและขนาดของสายอากาศแสดงในรูปที่ 4.6 และคุณสมบัติ S11 ของสายอากาศแสดงได้ในรูปที่ 4.7 ซึ่งเหตุที่เลือกสายอากาศชนิดนี้ทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดลองเนื่องจากเป็นสายอากาศที่มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ครอบคลุมความถี่ที่ใช้ในการทดลอง จึงเหมาะสมอย่างยิ่งต่อการนำไปใช้งานในระบบโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์แถบกว้างยิ่ง



รูปที่ 4.6 โครงสร้างและขนาดของสายอากาศแบบเส้นคดตัวนำกลาง



รูปที่ 4.7 คุณสมบัตินี้ S_{11} ของสายอากาศเส้นคดตัวนำกลาง

4.2.3 พารามิเตอร์สำหรับการทดลองวิจัย

พารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการทดลองวิจัยได้แสดงในตารางที่ 4.1 ซึ่งในการทดลองนั้น จะต้องทำการติดตั้งและตั้งค่าให้เป็นไปตามพารามิเตอร์ที่กำหนด ซึ่งจะต้องการตรวจสอบความถูกต้องนั้นจะทำในส่วนของตัวเชื่อมต่อของสายเคเบิลที่ต่ออยู่กับสายอากาศโดยใช้เครื่องมือเฉพาะ และจะต้องทำการปรับเทียบเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ก่อนทำการทดลอง สายอากาศอยู่ในสภาพสมบูรณ์ จึงจะได้ผลการวัดที่เที่ยงตรงที่สุด ซึ่งพารามิเตอร์ต่างๆ เหล่านี้มีผลต่อการทดลองวัดเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัดแสดงในตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัดคุณลักษณะฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศ

พารามิเตอร์	ค่า
ช่วงความถี่	3 กิกะเฮิรต์ – 5 กิกะเฮิรต์
จำนวนจุดความถี่	801 จุด
กำลังงานพลวัต	80 เดซิเบล
การวางตัวของสายอากาศ	แนวนอน
สายอากาศที่ใช้ในการทดสอบ	สายอากาศเส้นคดตัวนำกลาง
ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ	0.11-0.93 เมตร

พารามิเตอร์ที่สำคัญอย่างยิ่งต่อการทดลองคือร่างกายมนุษย์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองกลุ่มตัวอย่าง 12 ตัวอย่าง โดยได้แบ่งแยกบุคคลตามสมมติฐานในการทดลอง โดยทำการแบ่งแยกประเภทของร่างกาย ออกเป็น 3 ประเภทตามค่าดัชนีมวลกายของแต่ละบุคคล คือ ร่างกายผอม ร่างกายปกติ และร่างกายอ้วน ซึ่งการทดลองนี้สามารถทำการวิเคราะห์ได้หลายรูปแบบ เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบต่างๆ ที่อาจส่งผลต่อการทดลองได้ เนื่องจากความแตกต่างของดัชนีมวลกายยังส่งผลถึงลักษณะร่างกายที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจส่งผลอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่ทำการส่งผ่านบนร่างกาย ซึ่งหากต้องการนำเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งไปใช้กับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์แล้ว จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการวิเคราะห์ในลักษณะนี้

ตารางที่ 4.2 กลุ่มตัวอย่างลักษณะร่างกายของแบบจำลองเพศชาย

แบบจำลอง	ส่วนสูง (ซ.ม.)	น้ำหนัก (ก.ก.)	ประเภทของร่างกาย
1	173	53	ร่างกายผอม
	179	58.5	ร่างกายผอม
2	175	65	ร่างกายปกติ
	170	66	ร่างกายปกติ
3	165	80	ร่างกายอ้วน
	170	80	ร่างกายอ้วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 กลุ่มตัวอย่างลักษณะร่างกายของแบบจำลองเพศหญิง

แบบจำลอง	ส่วนสูง (ซ.ม.)	น้ำหนัก (ก.ก.)	ประเภทของร่างกาย
4	164	49	ร่างกายพอม
	168	43	ร่างกายพอม
5	156	46	ร่างกายปกติ
	167	58	ร่างกายปกติ
6	155	58	ร่างกายอ้วน
	149	50	ร่างกายอ้วน

4.3 รูปคลื่นสัญญาณต้นแบบที่ใช้ในการสังเคราะห์

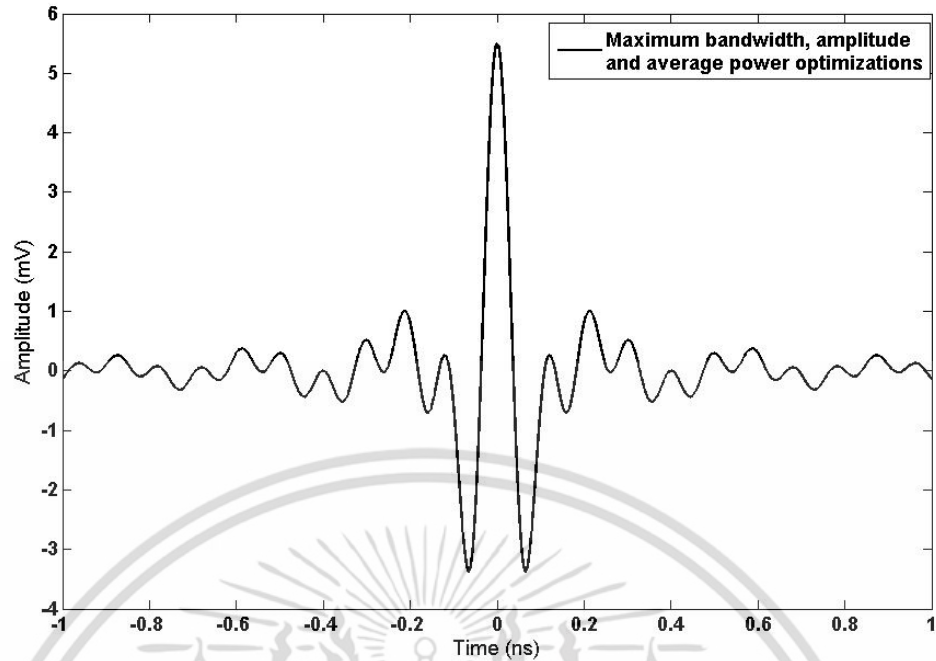
รูปคลื่นที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็นพารามิเตอร์อีกอย่างที่สำคัญอย่างยิ่งในการวิเคราะห์ หลังจากที่ได้ทำการทดลองวัดแล้ว จะนำผลการทดลองที่ได้ไปทำการประมวลผล ซึ่งสัญญาณรูปคลื่นที่นำมาใช้แต่ละแบบให้คุณสมบัติที่แตกต่างกัน ซึ่งวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกสัญญาณสองแบบเพื่อทำการเปรียบเทียบกัน ดังที่ได้อธิบายดังในทฤษฎีบทที่ 3 แล้วนั้น ในส่วนนี้เป็นการจำลองสัญญาณสัญญาณทั้งสองเพื่อให้เห็นลักษณะของรูปคลื่นสัญญาณและสเปกตรัมของสัญญาณทั้งสอง

4.3.1 สัญญาณรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม

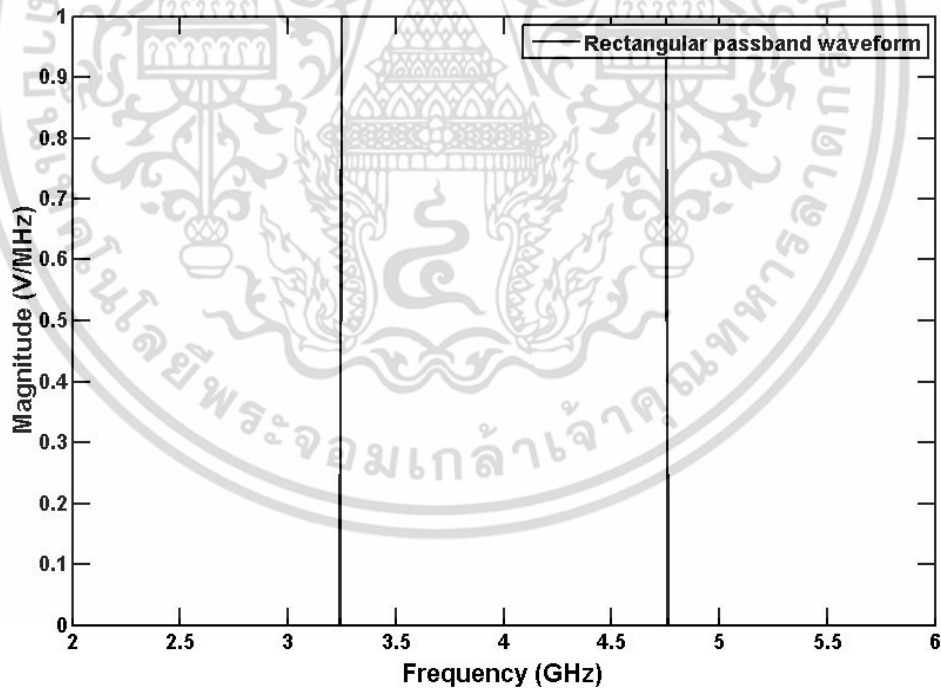
สัญญาณส่งแถบกว้างยิ่งที่นำมาศึกษาคือรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมเป็นสัญญาณที่นิยมนำมาใช้งานในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ เนื่องจากครอบคลุมแถบความถี่สเปกตรัมของแถบความถี่กว้างยิ่ง โดยรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามนิยามของแถบกว้างยิ่งนั้นสามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 4.8 และความหนาแน่นสเปกตรัมที่ถูกนอร์มัลไลซ์ของรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาส์ค FCC แสดงดังในรูปที่ 4.9

4.3.2 สัญญาณรูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของไรซ์โคชาน์

สัญญาณส่งแถบกว้างยิ่งอีกสัญญาณที่นำมาศึกษาคือรูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของไรซ์โคชาน์ สัญญาณชนิดนี้มีคุณลักษณะที่ใกล้เคียงกับสัญญาณรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมและสามารถสร้างเพื่อใช้งานได้จริง ซึ่งปกติถูกออกแบบเพื่อใช้งานแถบความถี่ร่วมของสัญญาณแถบกว้างยิ่ง โดยรูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของไรซ์โคชาน์ในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามนิยามของแถบกว้างยิ่งนั้นสามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 4.10 ความหนาแน่นสเปกตรัมที่ถูกนอร์มัลไลซ์ของรูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของไรซ์โคชาน์ที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาส์ค FCC แสดงดังในรูปที่ 4.11

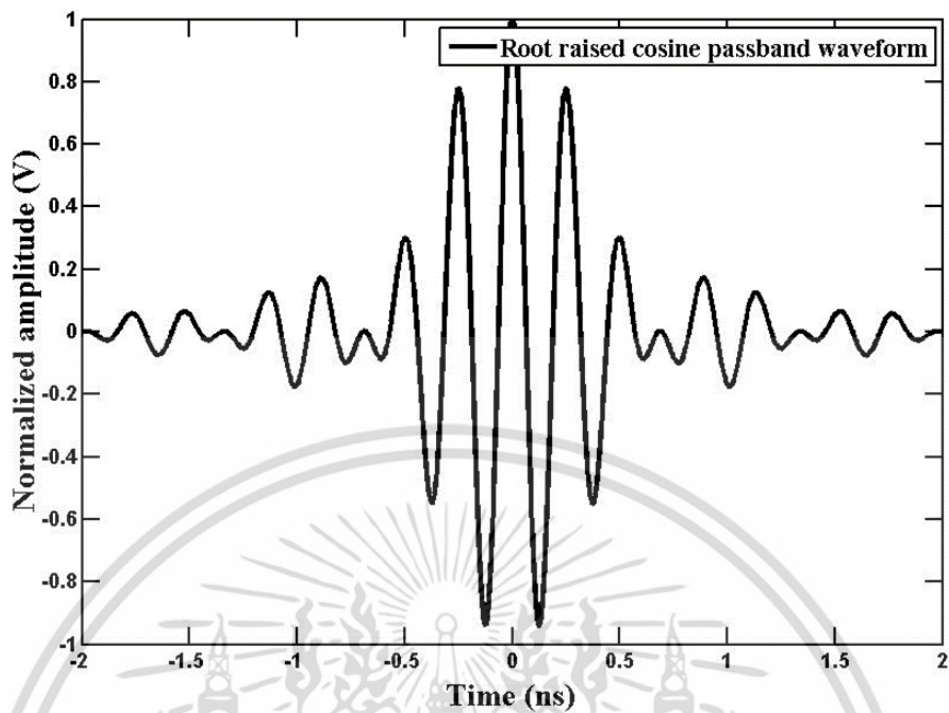


รูปที่ 4.8 รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมที่ถูกนอร์มัลไลซ์เป็นไปตามสเปกตรัมมาตรฐานของ FCC

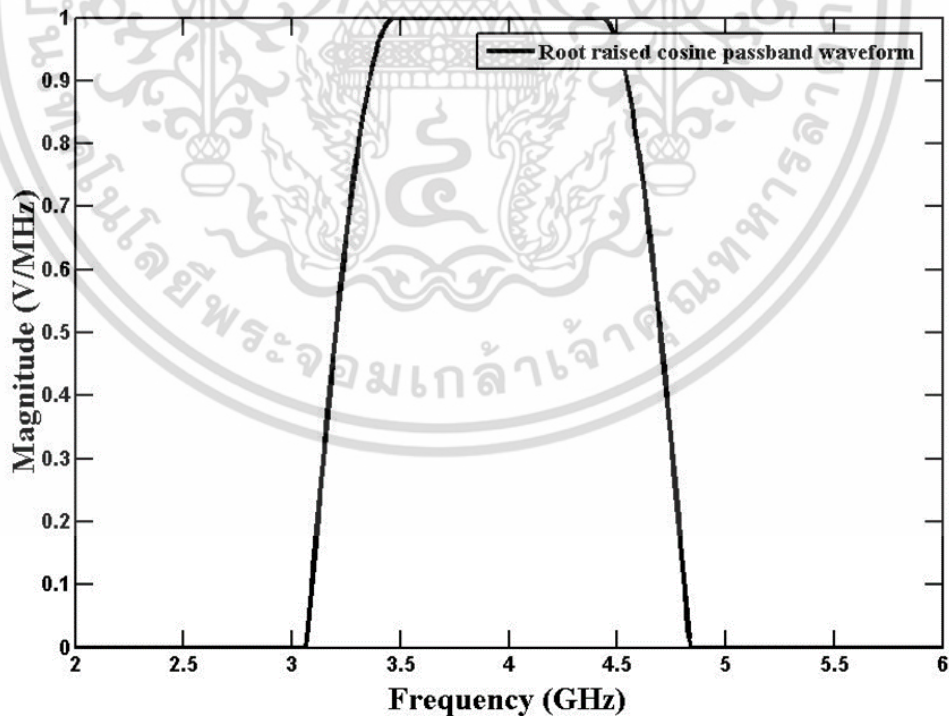


รูปที่ 4.9 ความหนาแน่นสเปกตรัมที่ถูกนอร์มัลไลซ์ของรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาตรฐาน FCC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 รูปคลื่นแถบผ่านรากลที่สองของโรซีโคซายน์ที่ถูกนอร์แมลไลซ์เป็นไปตามสเปกตรัมมาตรฐานของ FCC



รูปที่ 4.11 ความหนาแน่นสเปกตรัมที่ถูกนอร์แมลไลซ์ของรูปคลื่นแถบผ่านรากลที่สองของโรซีโคซายน์ที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาตรฐาน FCC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 บทสรุป

ในบทนี้เป็นการนำเสนอรายละเอียดรูปแบบแผนการวัดและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งได้ทำการทดสอบที่สภาวะแวดล้อมภายในอาคารที่ อาคาร 12 ชั้น บริเวณหน้าลิฟท์ ชั้น 3 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยได้แสดงเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด สายอากาศที่ใช้ในการทดสอบ ลักษณะของการติดตั้งบนแบบจำลอง และพารามิเตอร์สำคัญที่กำหนดสำหรับในการทดลองวัด ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการวิเคราะห์และประเมินผลที่ได้จากการวัด โดยในแบบจำลองได้มีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของสายอากาศทางด้านส่ง และให้สายอากาศรับอยู่กับที่ เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากตำแหน่งต่างๆ บนร่างกาย โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โคจรข่ายแบบเวกเตอร์เป็นอุปกรณ์หลักในการวัดและบันทึกผลของฟังก์ชันการถ่ายโอนในความถี่ในช่วง 3 GHz ถึง 5 GHz เพื่อให้ครอบคลุมช่วงความถี่ได้ทำการวิจัยตามมาตรฐาน IEEE802.15.6 ซึ่งเป็นช่วงความถี่ของระบบแบบแถบกว้างยิ่งที่ถูกระบุให้มาใช้งานกับโคจรข่ายพื้นที่ไร้สายบนร่างกาย โดยข้อมูลที่ได้จากการวัดทั้งหมดจะนำไปวิเคราะห์และแสดงผลพารามิเตอร์ตามทฤษฎีในบทที่ 3 และผลการวิเคราะห์การส่งผ่านแถบกว้างยิ่งได้แสดงผลการวัดดังในบทที่ 5



บทที่ 5

ผลการทดลองวิจัยและวิเคราะห์สัญญาณ

5.1 กล่าวนำ

ผลการทดลองที่ได้จากการประมวลผลวิเคราะห์สัญญาณของแบบจำลองช่องสัญญาณการแพร่กระจายคลื่นของโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ ซึ่งเป็นไปตามการวิเคราะห์ตามหลักทฤษฎีแถบกว้างยิ่งและและทฤษฎีอื่นที่เกี่ยวข้อง ซึ่งได้แสดงไว้ในบทที่ 3 และแบบแผนการทดลองและพารามิเตอร์ที่ทำวิจัย ได้วิเคราะห์สัญญาณการแพร่กระจายคลื่นไว้ในบทที่ 4 ผลที่ได้จากการวัดหรือการทดสอบจริงของช่องสัญญาณการส่งผ่านในสภาวะแวดล้อมจริง จากนั้นได้นำเอาผลการวัดมาทำการประเมินผล ซึ่งผลการทดลองเหล่านี้มีความสำคัญอย่างยิ่งเพราะสามารถบอกถึงคุณลักษณะของช่องสัญญาณที่มีผลกระทบจากสภาวะแวดล้อมของร่างกาย ผลการทดลองที่สำคัญเช่น การสูญเสียเชิงวิถี การประวิงกำลังงาน ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม ได้ถูกนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบ เพื่อแสดงถึงประสิทธิภาพและการประยุกต์ใช้งาน โดยงานวิจัยฉบับนี้ได้มุ่งเน้นการศึกษาการแพร่กระจายคลื่นบนโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ และ ยังศึกษาค่าดัชนีมวลกายประกอบเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบต่อการแพร่กระจายคลื่นอีกด้วย ผลการทดลองสามารถแสดงในบทนี้

5.2 ผลการทดลองวิจัย

5.2.1 แบบจำลองการสูญเสียเชิงวิถี

ค่าการสูญเสียเชิงวิถีโดยทั่วไปเป็นค่าที่แสดงการสูญเสียต่อระยะทาง ซึ่งเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นการสูญเสียยิ่งมากขึ้นด้วย แต่ในวิทยานิพนธ์นี้ได้นิยามใหม่โดยนำค่าการสูญเสียเชิงวิถีมาทำการเปรียบเทียบในลักษณะแบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้น เพื่อหาค่าความผิดพลาดเนื่องจากระบบแถบกว้างยิ่งเป็นการส่งสัญญาณด้วยสัญญาณพัลส์ ความผิดพลาดจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการวิเคราะห์ สำหรับการหาค่าความผิดพลาดด้วยแบบจำลองรีเกรสชันจะเป็นการจำลองสัญญาณที่เราทำการศึกษาและสัญญาณในทางอคติจำลองสัญญาณคือสัญญาณรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมและสัญญาณรูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของไรซ์โคซายน์ โดยใช้สัญญาณรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม แสดงไว้ดังรูปที่ 5.1 และแบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นโดยใช้สัญญาณสัญญาณรูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของไรซ์โคซายน์แสดงในรูปที่ 5.2 ซึ่งทั้งสองรูปเป็นการเปรียบเทียบค่ารีเกรสชันของกำลังงานค่ายอดและกำลังงานค่าเฉลี่ย โดยนิยามของค่าทั้งสองคือ หากเส้นทับกันสนิท สัญญาณที่รับได้จะไม่มีผิดพลาด แต่หากยังเส้นทั้งสองห่างกันเท่าไรค่าความผิดพลาดจะเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นเราสามารถอธิบายแบบจำลองในรูปทั้งสองได้ดังนี้

จากรูปที่ 5.1 เมื่อใช้สัญญาณรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมในการส่ง ค่าความแตกต่างระหว่างค่าสูญเสียเชิงวิถีแบบกำลังเฉลี่ยและค่าการสูญเสียกำลังค่ายอดจะมีค่าใกล้เคียงกันแต่ห่างกันนิดหน่อย เช่นเดียว กับรูปที่ 5.2 การใช้สัญญาณรูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของไรซ์โคซายน์ ค่าความแตกต่างระหว่างค่าสูญเสียเชิงวิถีของความสูญเสียค่ายอดและความสูญเสียกำลังเฉลี่ยมีค่ามีค่าห่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ในชื่อของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิทหน้อยเช่นเดียวกัน ซึ่งเป็นผลมาจากผลกระทบของร่างกายและค่าการสูญเสียเชิงวิถี ซึ่งค่าสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาทั้งสองได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ค่าสูญเสียเชิงวิถี

สัญญาส่ง	ค่าความสูญเสียกำลังเฉลี่ย	ค่าความสูญเสียค่ายอด
รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม	70.36	73.50
รูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของโรซโคชายน	70.33	73.40

ตารางที่ 5.2 ค่ายกกำลังการสูญเสียเชิงวิถี

สัญญาส่ง	ค่าความสูญเสียกำลังเฉลี่ย	ค่าความสูญเสียค่ายอด
รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม	2.22	2.54
รูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของโรซโคชายน	2.18	2.52

จะเห็นได้ว่าเมื่อเทียบค่าการสูญเสียกำลังเฉลี่ยหรือค่าการสูญเสียค่ายอดของสัญญาทั้งสองนั้นมีความใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นสัญญารูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของโรซโคชายนจึงสามารถนำมาใช้ในการพิจารณาแทนสัญญารูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมได้ ซึ่งในชั้นวิเคราะห์ลำดับต่อไป จึงได้ใช้สัญญารูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของโรซโคชายนในการพิจารณา

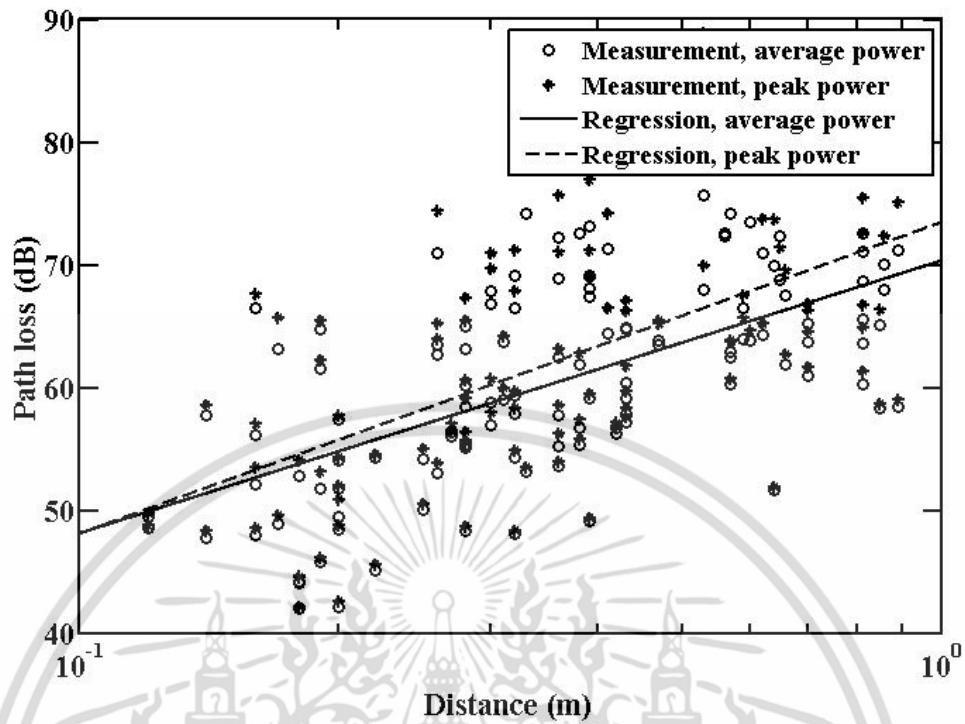
ขณะที่ค่ายกกำลังการสูญเสียซึ่งแสดงถึงการสูญเสียที่เกิดจากสภาวะแวดล้อม จากการทดลองจะเห็นได้ว่ามีค่าอยู่ที่ช่วงใกล้เคียงกับสภาวะแวดล้อมภายในอาคารโดยมีค่ามากกว่าเล็กน้อย ซึ่งเป็นผลมาจากผลกระทบจากร่างกายและค่ายกกำลังการสูญเสียของรูปคลื่นทั้งสองก็มีความใกล้เคียงกันเช่นเดียวกับค่าการสูญเสียเชิงวิถี

เมื่อทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่อาจส่งผลเพิ่มเติมต่อช่องสัญญาณการแพร่กระจายบนโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ งานวิจัยนี้ได้พิจารณาแบบจำลองช่องสัญญาณของการสูญเสียเชิงวิถีของการสูญเสียเชิงวิถีกำลังเฉลี่ยและการสูญเสียเชิงวิถีของความสูญเสียกำลังยอดที่ระยะอ้างอิงของแต่ละกรณี ซึ่งได้แยกกรณีศึกษาออกเป็นสามกรณี โดยใช้ค่าดัชนีมวลกายเป็นตัวแบ่งแยก ซึ่งแบ่งออกเป็นกรณีบุคคลที่ค่าดัชนีบ่งชี้ว่าผอม ขนาดปกติทั่วไป และบุคคลอ้วนกว่ามาตรฐาน เพื่อศึกษาผลกระทบว่าขนาดของร่างกายมีผลอย่างไรต่อระบบการส่งผ่าน ซึ่งผลที่ได้จะเป็นดังรูปที่ 5.3 5.4 และ 5.5 จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าความสูญเสียเชิงวิถีของแต่ละแบบจำลองเมื่อพิจารณาค่าความผิดพลาดของแบบจำลองนั้น รูปที่ 5.4 แบบจำลองของบุคคลร่างกายปกติมีค่าความต่างของการสูญเสียเชิงวิถีน้อยสุดเมื่อเทียบกับแบบจำลองอื่นๆ และเมื่อพิจารณาค่าความชันเพื่อหาค่ายกกำลังการสูญเสีย ค่าที่ได้จะมีลักษณะที่สอดคล้องกับค่าสูญเสียเชิงวิถี ซึ่งค่ายกกำลังเชิงสูญเสียสามารถแสดงได้ดังในตารางที่ 5.3

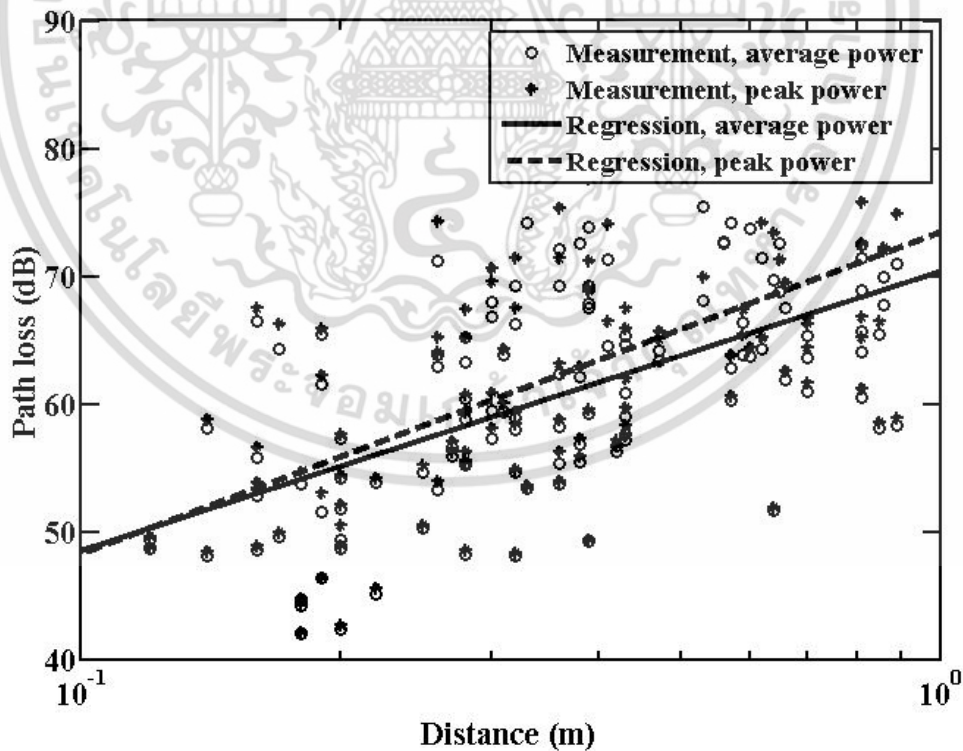
ตารางที่ 5.3 ค่ายกกำลังการสูญเสียเชิงวิถีกรณีใช้ค่าดัชนีมวลกาย

แบบจำลอง	ค่าความสูญเสียกำลังเฉลี่ย	ค่าความสูญเสียค่ายอด
แบบจำลองของคนผอม	2.5164	3.6176
แบบจำลองของคนธรรมดา	1.9521	2.1405
แบบจำลองของคนอ้วน	2.1506	2.6574

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านใด ๆ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

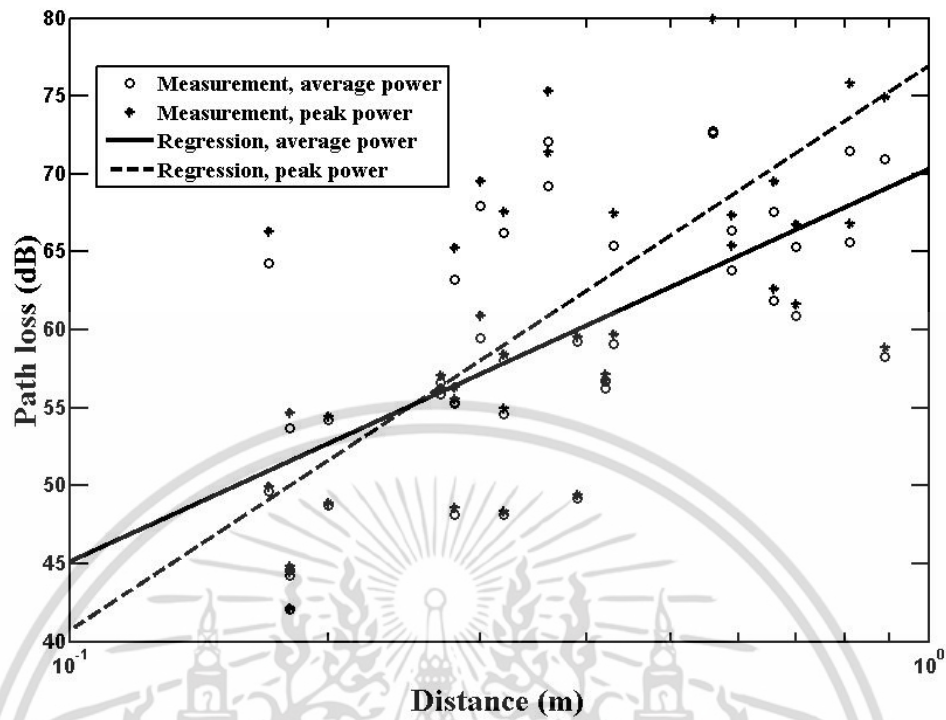


รูปที่ 5.1 แบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นของสัญญาณรูปคลื่นแถบผ่านสีเหลี่ยม

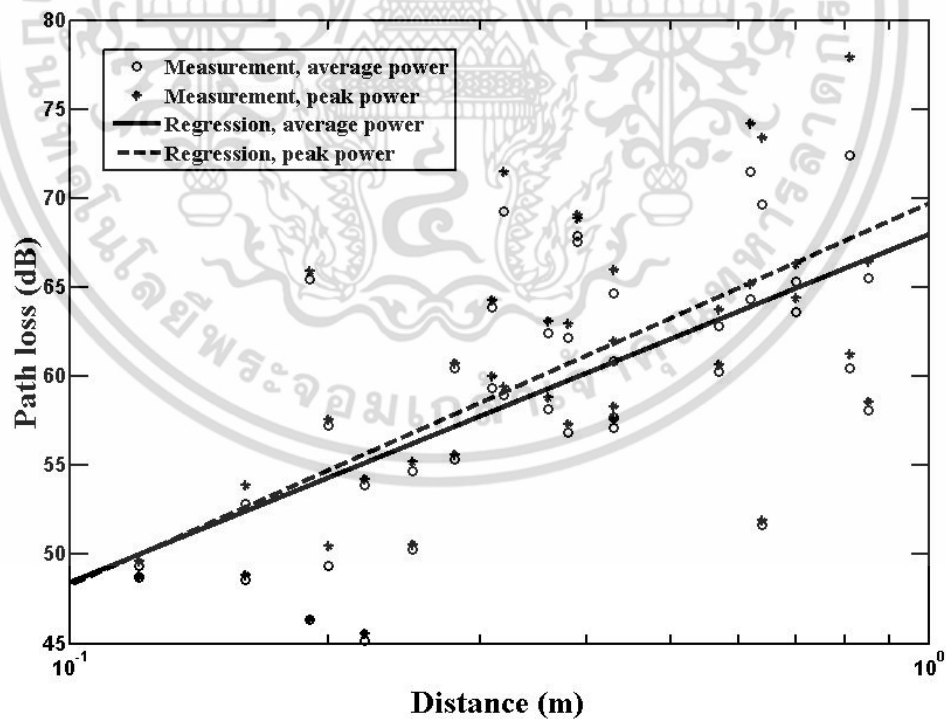


รูปที่ 5.2 แบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นของสัญญาณรูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของไรชโคชานน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

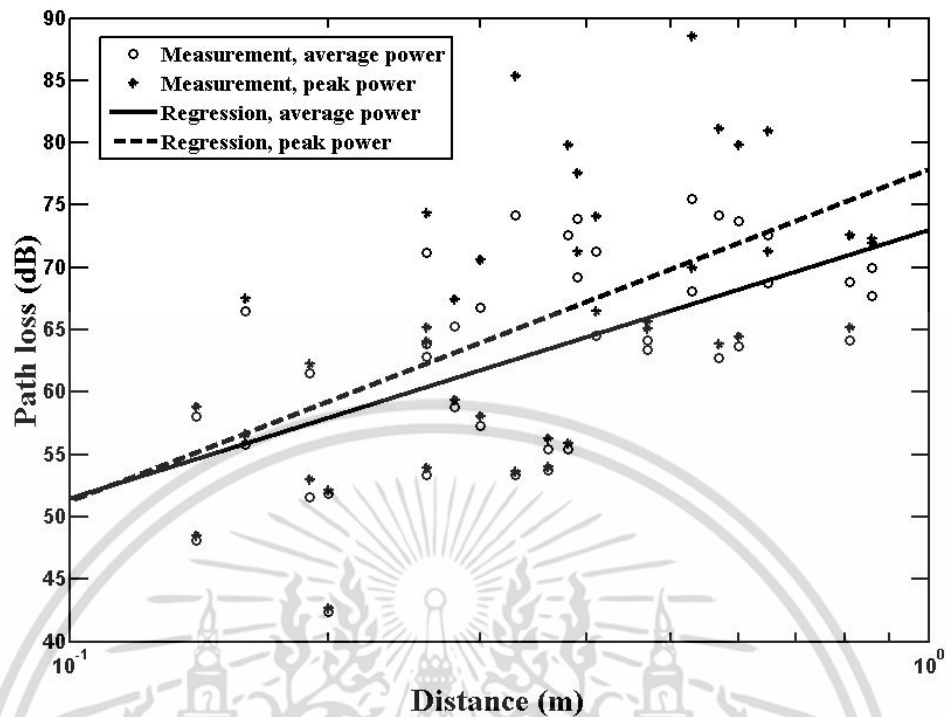


รูปที่ 5.3 แบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นของแบบจำลองบุคคลผอม



รูปที่ 5.4 แบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นของแบบจำลองบุคคลปกติ

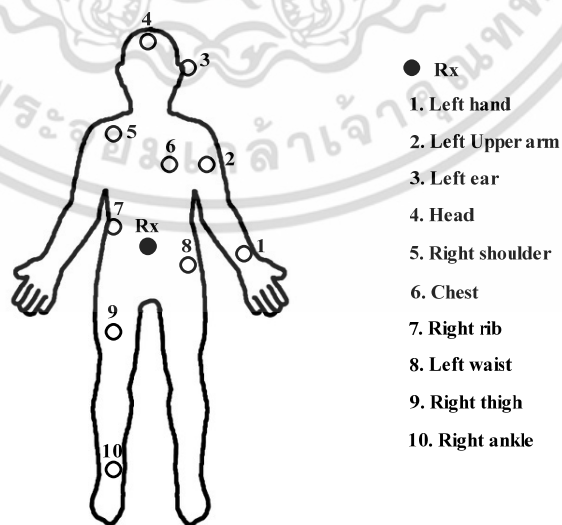
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 แบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นของแบบจำลองบุคคลอ้วน

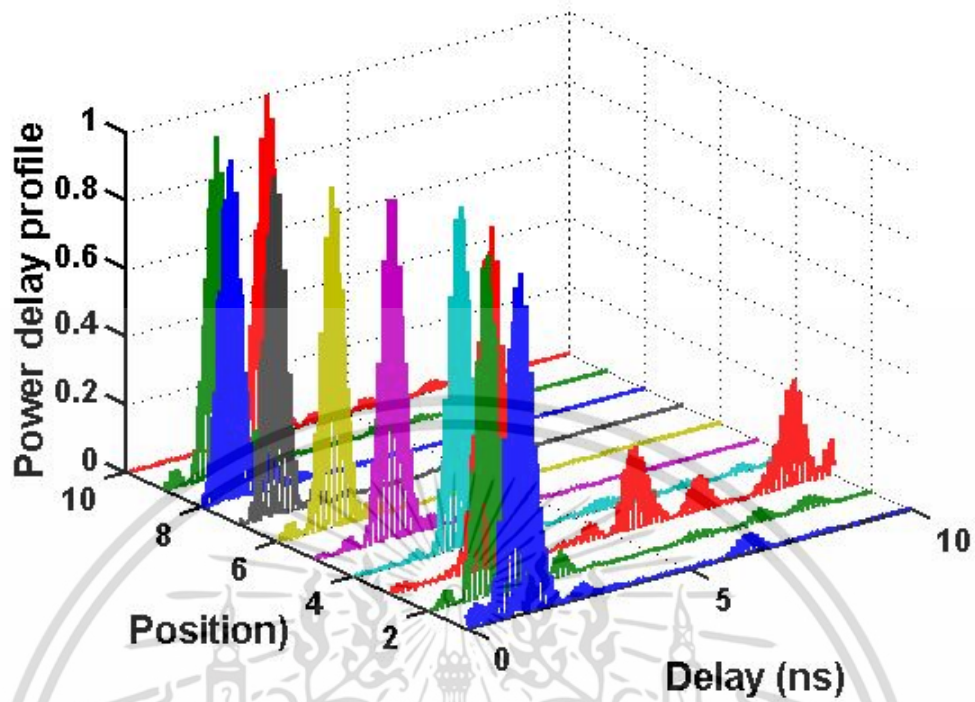
5.2.2 การประวิงกำลังงานของช่องสัญญาณ

การประวิงกำลังงานเป็นค่าที่แสดงถึงระดับกำลังงานที่รับได้ที่ฝั่งเครื่องรับเทียบกับเวลาการประวิง ซึ่งการแพร่กระจายคลื่นในสภาวะแวดล้อมที่ซับซ้อนแบบร่างกาย มีความสำคัญอย่างมากต่อการศึกษาการประวิงกำลังงาน เพราะอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบการส่งผ่านบนร่างกายมนุษย์ ในงานในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการทดลองตามตำแหน่งต่างดังรูปที่ 5.6 และผลการทดลองได้ทำการเปรียบเทียบโดยแบ่งตามดัชนีมวลกายดังรูปที่ 5.7 5.8 และ 5.9

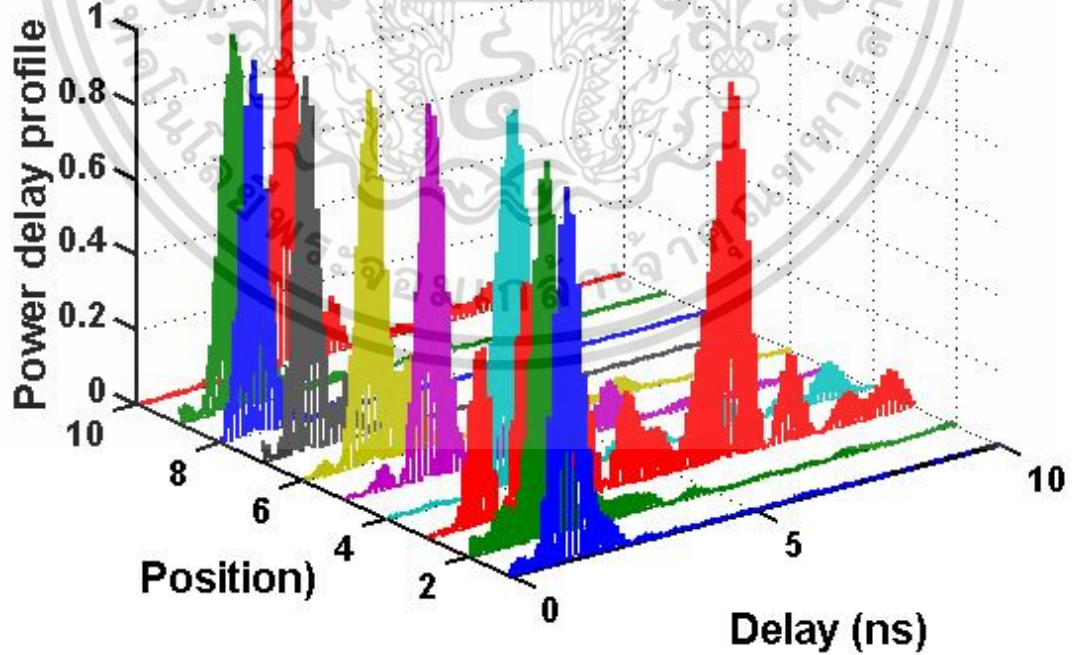


รูปที่ 5.6 ตำแหน่งต่างๆบนร่างกายที่ได้ทำการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

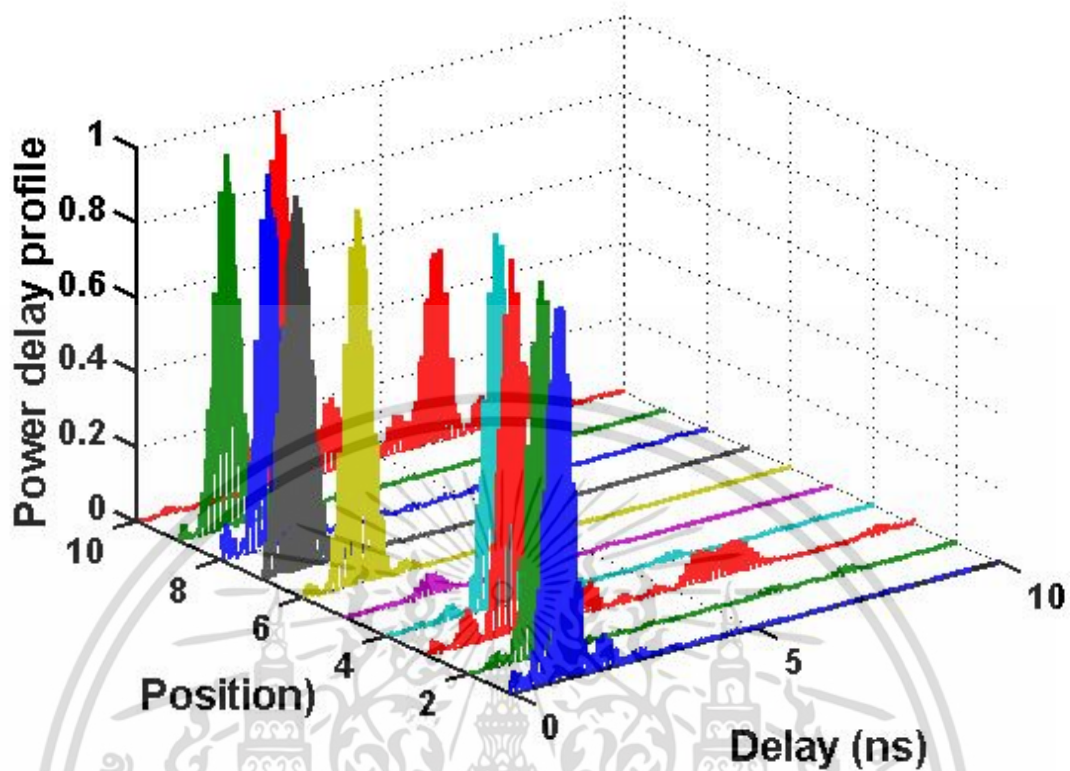


รูปที่ 5.7 ค่าการประวิงกำลังงานของบุคคลผอม



รูปที่ 5.8 ค่าการประวิงกำลังงานของบุคคลปกติ

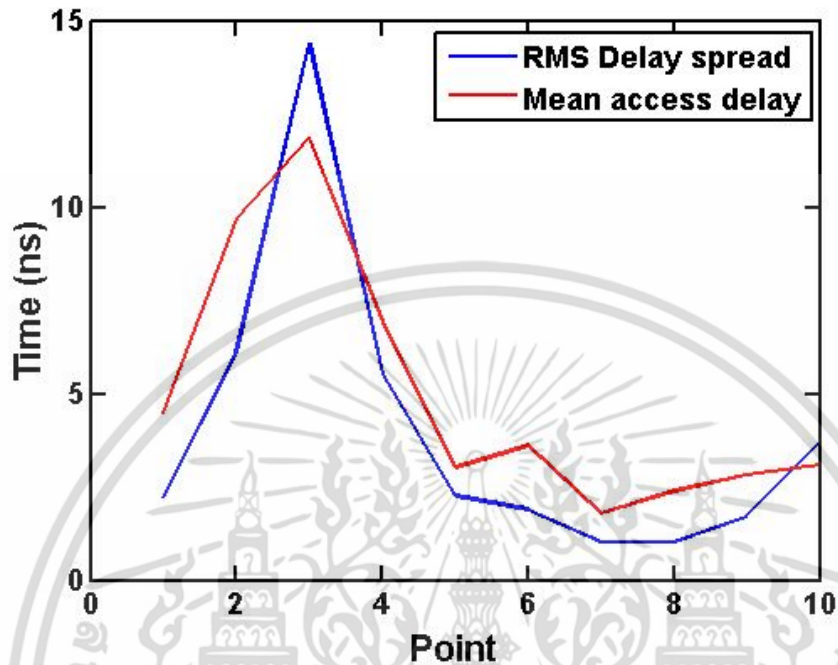
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



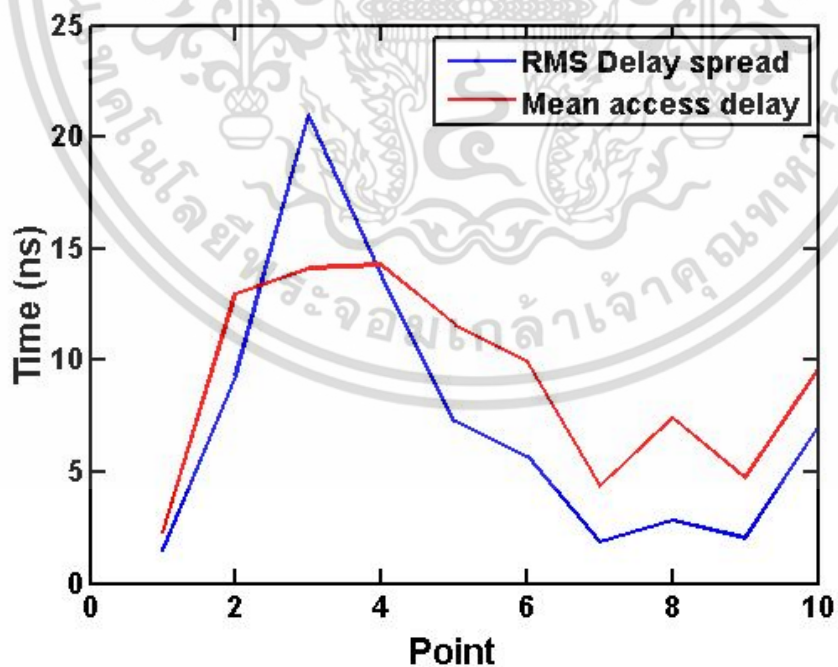
รูปที่ 5.9 ค่าการประวิงกำลังงานของบุคคลอ้วน

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าการประวิงกำลังงานของแบบจำลองทั้งสามจะมีลักษณะที่สอดคล้องกันทั้งสามรูป แต่ค่าระดับกำลังงานจะมีค่าแตกต่างกันในบางตำแหน่งและช่วงเวลาการประวิงของแต่ละตำแหน่งมีค่าที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ช่วงการประวิงกำลังงานเมื่อสังเกตจากภาพทั้ง 10 ตำแหน่ง จะเห็นได้ว่าช่วงการประวิงของแบบจำลองบุคคลดัชนีมวลกายปกติมีค่าการประวิงน้อยกว่าลักษณะแบบจำลองอื่น จากการที่แต่ละแบบจำลองก็มีผลที่ต่างกัน นั้นแสดงให้เห็นว่าดัชนีมวลกายมีผลกระทบต่อการแพร่กระจายคลื่นบนร่างกาย อาจด้วยเพราะเมื่อค่าดัชนีมวลกายต่างกัน ส่งผลต่อลักษณะรูปร่างของแต่ละบุคคลด้วย ทำให้ตำแหน่งการแพร่กระจายคลื่นมีความแตกต่างกัน และยังสังเกตเห็นถึงการแผ่เวลาประวิงของแต่ละแบบจำลองได้อีกด้วย ค่าการแผ่เวลาประวิงคือกำลังงานที่มีการกระจายตัวตามค่าของเวลาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งยังมีการแผ่เวลาประวิงนั้นหมายถึงบริเวณนั้นหรือตำแหน่งนั้นเกิดการสูญเสียหรือการประวิงมาก อันจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการส่งผ่านรูปคลื่นแถบกว้างยิ่งสำหรับโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ ซึ่งในหัวข้อลำดับต่อไปได้แสดงค่าเฉลี่ยเวลาประวิงและการแผ่เวลาประวิงให้เห็นอย่างชัดเจน

5.2.3 การเฉลี่ยของเวลาประวิง (Mean excess delay) และการแผ่เวลาประวิง (RMS delay spread)

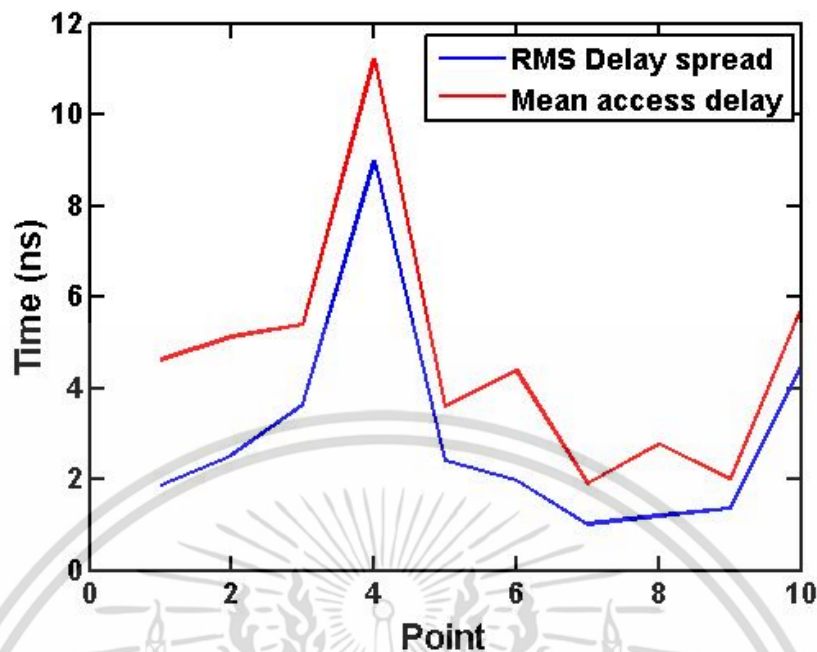


รูปที่ 5.10 เปรียบเทียบค่าการเฉลี่ยของการประวิงกับการแผ่เวลาประวิงแบบจำลองบุคคลผสม



รูปที่ 5.11 เปรียบเทียบค่าการเฉลี่ยของการประวิงกับการแผ่เวลาประวิงแบบจำลองบุคคลปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.12 เปรียบเทียบค่าการเฉลี่ยของการประวิงกับการแผ่เวลาประวิงแบบจำลองบุคคลอ้วน

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการเฉลี่ยของการประวิงกับการแผ่เวลาประวิงจะมีลักษณะที่คล้ายกันทั้งสามแบบจำลอง ซึ่งบริเวณใดที่มีการประวิงของเวลาสูง ย่อมส่งผลต่อประสิทธิภาพในการส่งผ่าน ซึ่งบริเวณจุดที่สี่มักมีค่าการประวิงสูงที่สุด และเมื่อทำการเปรียบเทียบทั้งสามรูปค่าการประวิงของช่วงแบบจำลองปกติมีค่ามากที่สุดอยู่บริเวณจุดที่สี่ ซึ่งอยู่บริเวณโอบุ และเมื่อดูค่าประวิงเทียบกันทั้งหมดแบบจำลองร่างกายปกติมีค่าการเฉลี่ยของการประวิงและการแผ่เวลาประวิงมากที่สุด

5.2.4 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative distribution function: CDF)

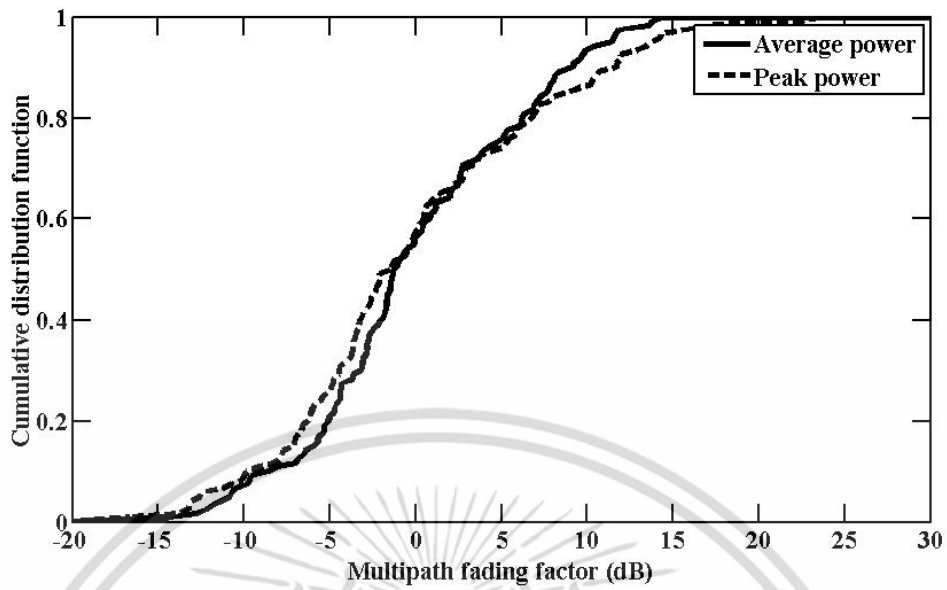
ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมแสดงการกระจายของความหนาแน่นของกำลังงานของแต่ละแบบจำลอง โดยสามารถหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละแบบจำลองเพื่อทำการเปรียบเทียบซึ่งแสดงดังในตารางที่ 5.4 และ 5.5

ตารางที่ 5.4 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของรูปคลื่นสัญญาณส่ง

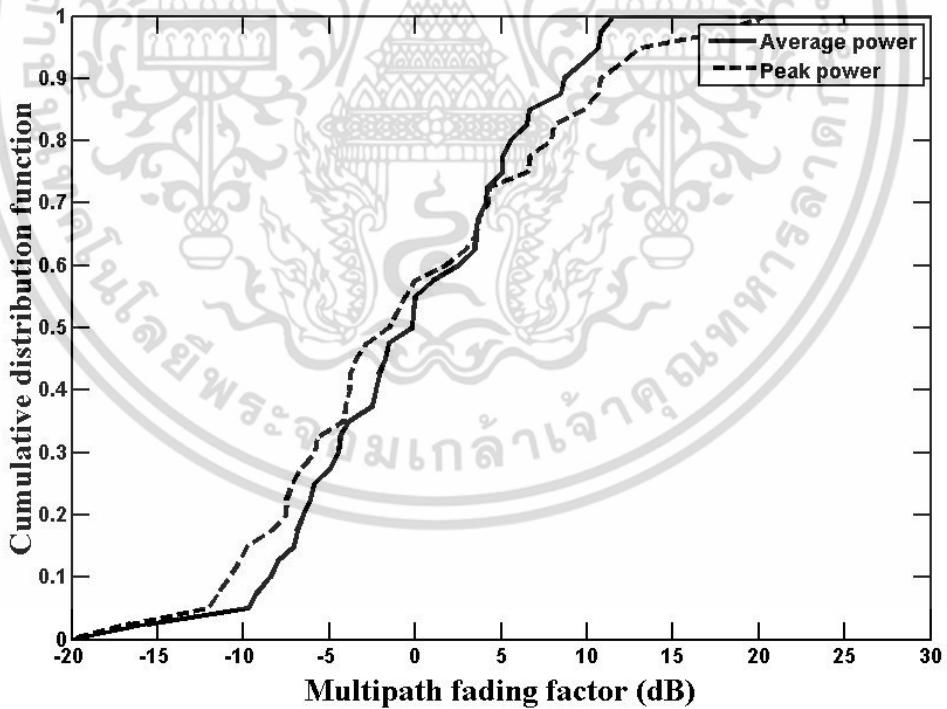
แบบจำลอง	ค่าความสูญเสียกำลังเฉลี่ย	ค่าความสูญเสียค่ายอด
รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม	6.41	7.88
รูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของไรซ์โคซายน์	6.42	7.89

ตารางที่ 5.5 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแบบจำลอง

แบบจำลอง	ค่าความสูญเสียกำลังเฉลี่ย	ค่าความสูญเสียค่ายอด
แบบจำลองของคนผอม	8.3057	9.3063
แบบจำลองของคนธรรมดา	7.6059	7.9762
แบบจำลองของคนอ้วน	8.4807	10.0814

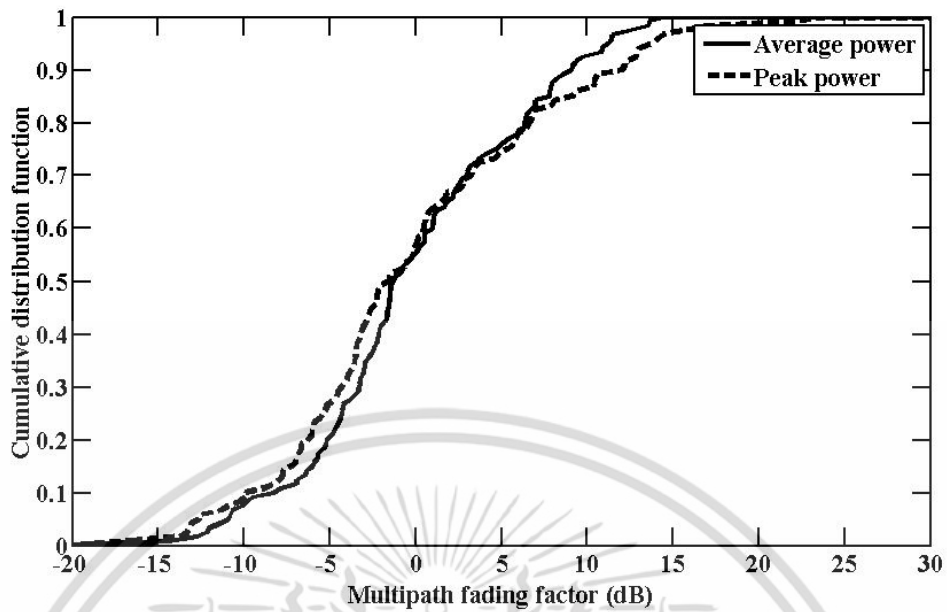


รูปที่ 5.13 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม

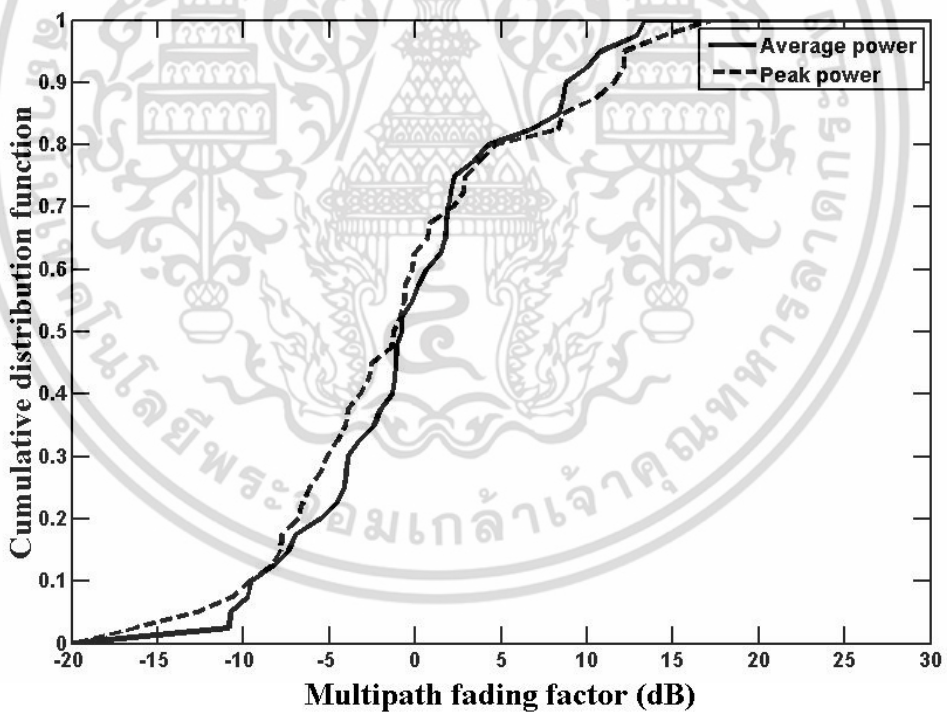


รูปที่ 5.14 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของรูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของโรซีโคชานน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

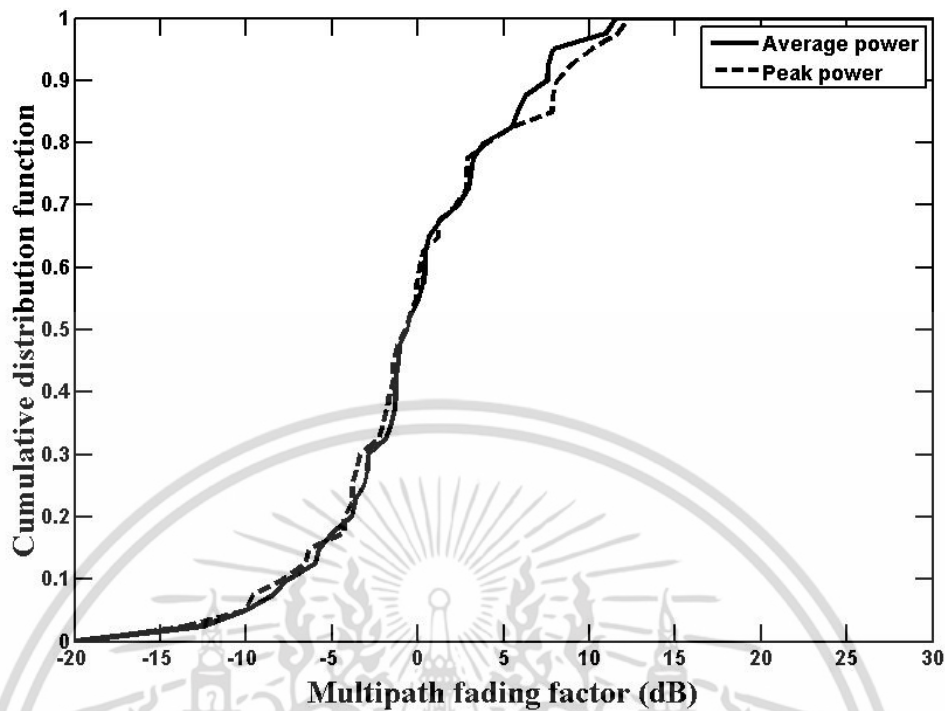


รูปที่ 5.15 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของคนลักษณะพอม



รูปที่ 5.16 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของแบบจำลองบุคคลปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.17 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของคนลักษณะอ้วน

จากรูปที่ 5.12 - 5.16 สามารถสรุปได้ดังนี้ รูปที่ 5.12 และ 5.13 เป็นการเปรียบเทียบการแจกแจงสะสมของรูปคลื่นสัญญาณส่งทั้งสองแบบที่ทำการพิจารณาคือของรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม และรูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของโรซีโคซายน์ ซึ่งค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานทั้งสองรูปมีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อทำการแบ่งด้วยดัชนีมวลกายและทำการเปรียบเทียบฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของแต่ละแบบจำลองจะเห็นได้ว่าฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของของคนดัชนีมวลการปกติมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับคนผอมและคนอ้วน

5.3 บทสรุป

จากผลการทดลองวิจัยในการศึกษานี้ ได้นำแบบจำลองการสูญเสียเชิงวิถี แบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้น แบบจำลองการจางหายหลายวิถี และแบบจำลองเชิงสถิติมาวิเคราะห์ เพื่อใช้ในการหาประสิทธิภาพของช่องสัญญาณการส่งผ่านของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งบนโครงข่ายร่างกายมนุษย์ซึ่งในบทนี้ได้แสดงผลการวัดและการวิเคราะห์ผลของสัญญาณในรูปกราฟและตาราง โดยการวัดสัญญาณนั้นได้ทำการทดลองที่ชั้น 3 อาคาร 12 ชั้น หน้าลิฟท์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ในสภาพแวดล้อมภายในอาคาร ซึ่งได้ใช้แบบจำลองในการวัดตามที่ได้แสดงไว้ในบทที่ 4 จากผลการทดลองวิจัยและผลการวิเคราะห์ ทำให้เห็นว่ามีผลกระทบหลายอย่างกับระบบการแพร่กระจายคลื่น อาทิเช่น ร่างกายของมนุษย์ที่แตกต่างกันไป ตำแหน่งการวางสายอากาศ ระยะห่างระหว่างสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับ และสภาวะแวดล้อมที่ทำการวัดลอง อาจรวมถึงสัญญาณรบกวนจากระบบอื่นๆ ซึ่งผลการทดลองข้างต้นสามารถบ่งบอกถึงผลกระทบ จากสภาวะการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แพร่กระจายคลื่นบนร่างกาย ซึ่งสามารถที่จะนำผลการทดลองไปใช้ในการออกแบบระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นได้ต่อไปและเป็นไปตามมาตรฐานการใช้งานของ IEEE802.15.6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

6.1 กล่าวนำ

ปัจจุบันด้วยการเพิ่มขึ้นประชากรโลกและการเข้าสู่ยุคผู้สูงอายุ จึงได้มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีไร้สายมาใช้นำมาใช้สนับสนุนระบบทางการแพทย์ และการประยุกต์ใช้ทางด้านมัลติมีเดีย จึงมีการวิจัยและการประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง เทคโนโลยีแถบกว้างยังเป็นเทคโนโลยีไร้สายระยะสั้น มีการใช้ระดับกำลังงานในการส่งต่ำ และสามารถส่งข้อมูลได้สูง ซึ่งสามารถตอบสนองโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ได้อย่างดีเยี่ยม เนื่องจากร่างกายมีโครงสร้างที่แตกต่างจากการใช้งานทั่วไป การนำมาประยุกต์ใช้งานบนร่างกายมนุษย์นั้นจำเป็นต้องศึกษาอย่างยิ่ง เพื่อให้สามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพ ด้วยเหตุนี้จึงอย่างยิ่งสำหรับการศึกษาวิเคราะห์ถึงการแพร่กระจายของสัญญาณบนร่างกายมนุษย์ ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการประเมินผลช่องสัญญาณการส่งผ่านของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งโดยประยุกต์ใช้บนร่างกายมนุษย์ และได้ใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ เป็นอุปกรณ์หลักในการวัดช่องสัญญาณการส่งผ่าน ใช้สายอากาศแบบเส้นคดตัวนำกลางเป็นสายอากาศทั้งด้านส่งและด้านรับ และได้ทำการทดลองวัดบริเวณชั้น 3 อาคาร 12 ชั้น บริเวณหน้าลิฟท์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในสภาพแวดล้อมภายในอาคาร จากนั้นทำการประมวลผลตามหลักการและทฤษฎีในการวิเคราะห์ระบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งได้ผลการทดลองดังในบทที่ 5 ซึ่งเราสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

6.2 สรุปผลของการศึกษาทดลอง

ตารางที่ 6.1 ผลการทดลองวิจัย

แบบจำลอง	การสูญเสียเชิงวิถี ระยะทาง 1 เมตร		ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	ความสูญเสียกำลังเฉลี่ย	ความสูญเสียกำลังค่ายอด	ความสูญเสียกำลังเฉลี่ย	ความสูญเสียกำลังค่ายอด
สัญญาณแถบผ่านสี่เหลี่ยม	70.36	73.50	5.34	6.37
สัญญาณแถบผ่านรากที่สองของไรซ์โคซายน์	70.33	73.40	5.60	5.97
ร่างกายพอม	59.31	60.93	6.51	7.69
ร่างกายปกติ	61.10	62.38	4.50	5.00
ร่างกายอ้วน	60.21	61.73	4.26	4.73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านกรรมสิทธิ์ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองวิจัยที่ได้เมื่อพิจารณาการสูญเสียเชิงวิถีที่ระยะทาง 1 เมตร จะเห็นได้ว่าในการสูญเสียที่กรณีใช้สัญญาณรูปคลื่นที่นำมาใช้พิจารณาคือสัญญาณรูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของไรซ์โคซายน์นั้นมีการสูญเสียเชิงวิถีของความสูญเสียกำลังเฉลี่ยและค่าการสูญเสียเชิงวิถีของความสูญเสียทั้งสองแบบมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นสัญญาณรูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของไรซ์โคซายน์ มีความเหมาะสมและสามารถนำมาใช้งานในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ และจากการนำค่าสูญเสียมาแสดงในรูปแบบจำลองรีเกรสชัน สามารถพิจารณาความผิดพลาดจากการแพร่กระจายคลื่นของระบบแถบกว้างยิ่งบนร่างกายได้อีกด้วย โดยเมื่อพิจารณาผลกระทบแบบจำลองโดยแบ่งด้วยดัชนีมวลกาย กรณีของบุคคลดัชนีมวลกายอยู่ในเกณฑ์อ้วนมีการสูญเสียเชิงวิถีของความสูญเสียกำลังเฉลี่ยและค่าการสูญเสียเชิงวิถีของความสูญเสียกำลังยอดมากที่สุด

เมื่อพิจารณาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากฟังก์ชันการแจกแจงของแต่ละแบบจำลองจะเห็นได้ว่าในกรณีดัชนีมวลกายของบุคคลผอมมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความสูญเสียกำลังเฉลี่ยน้อยที่สุด และกรณีดัชนีมวลกายของบุคคลอ้วนมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความสูญเสียกำลังเฉลี่ยมากที่สุด

จากการศึกษาเกี่ยวกับเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งจะเห็นได้ว่าเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งเหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในระบบการสื่อสารระยะใกล้หรือโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลไร้สาย เนื่องจากเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งสามารถรองรับความต้องการของผู้ใช้งานและระบบมัลติมีเดียต่างๆที่จะถูกพัฒนาและนำมาใช้ในอนาคตได้ จึงมีความจำเป็นในการศึกษาและวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพการส่งผ่านของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง จึงเป็นที่มาของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เลือกใช้ทฤษฎีพื้นฐานมาทำการวิเคราะห์การประยุกต์ใช้

6.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการวิจัยต่อไปในอนาคต

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอแบบจำลองการสูญเสียเชิงวิถี แบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นแบบจำลองการจางหลายวิถี และแบบจำลองเชิงสถิติ โดยพิจารณาการสูญเสียของช่องสัญญาณการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งบนร่างกายมนุษย์ที่มีลักษณะทางร่างกายที่แตกต่างกันไป เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความสอดคล้องสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งาน ซึ่งแบบจำลองดังกล่าวยังไม่ได้ครอบคลุมสำหรับการใช้งานจริงทั้งหมด ดังนั้นในการออกแบบการทดลองต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายๆ ด้านที่ส่งผลกระทบต่อช่องสัญญาณ เช่น สภาพแวดล้อมในการทดลอง ลักษณะสายอากาศที่ใช้ทดลอง โมเดลสำหรับการทดลอง ตลอดจนการรบกวนจากการสื่อสารไร้สายแบบอื่นๆ ซึ่งสิ่งเหล่านี้ล้วนแล้วแต่ส่งผลกระทบต่อช่องสัญญาณได้ จึงจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการนำไปพิจารณาและปรับปรุงสำหรับนำไปใช้ในการศึกษาเพื่อให้ผลที่ได้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับใช้ในการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งเพื่อช่วยพัฒนาระบบการสื่อสารนี้ต่อไปในอนาคตได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2013), World Population Ageing 2013. ST/ESA/SER.A/348.
- [2] 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.
- [3] M. G. Di Benedetto, T. Kaiser, A. F. Molisch, I. Oppermann, C. Politano, and D. Porcino “UWB Communications Systems: A Comprehensive Overview,” EURASIP Book Series on Signal Processing and Communications, Volume 5, 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] S. Movassaghi, M. Abolhasan, J. Lipman, D. Smith and A. Jamalipour, “Wireless Body Area Network: A Survey,” IEEE Communication Survey & Tutorial, Vol. 16, No 3. 2014
- [6] R. Cavallari, F. Martelli, R. Rosini, C. Buratti and R. Verdone, “A Survey on Wireless Body Area Network: Technologies and Design Challenges,” IEEE Communication Survey & Tutorial, Vol. 16, No 3. 2014”
- [7] P. Van Daele, I. Moerman, and P. Demeester, “Wireless Body Area Networks: Status & Opportunities,” General Assembly and Scientific Symposium (URSI GASS), 2014 XXXIth URSI Year: 2014
- [8] H. Cao and V Leung, “Enabling Technologies for Wireless Body Area Network: A Survey and Outlook,” IEEE Communication Magazine December 2009
- [9] 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.
- [10] X. Lu, X. Chen, D. Jin, L. Su, and L. Zeng “UWB-based Wireless Body Area Networks Channel Modeling and Performance Evaluation,” IEEE Communications Society subject matter experts for publication in the IEEE ICC 2011
- [11] X. Chen, X. Lu, D. Jin, L. Su, and L. Zeng “Channel Modeling of UWB-Based Wireless Body Area Networks,” 2011 IEEE International Conference on Communications (ICC) pp.1-5, 2011
- [12] D. Goswami, K. C. Sarma, and A. Mahanta, “Experimental Determination of Path Loss and Delay Dispersion Parameters for On-Body UWB-WBAN Channel,” Signal Processing, Informatics, Communication and Energy Systems (SPICES), 2015 IEEE International Conference on

- [13] Gao, H. Peng, J. Zou, and Z. Cao “Performance of WBAN UWB system based on the Measured on-body Channel Model,” IEEE 2nd International Conference on Cloud Computing and Intelligence Systems, 2012, pp.893-897
- [14] M. Ghavami, L. B. Michael and R. Kohno, “Ultra wideband signals and systems in communication engineering,” John Wiley & Sons, 2004.
- [15] F. Ramirez-Mireles, and R. A. Scholtz, “Wireless multiple-access using SS time hopping and block waveform pulse position modulation, part 2: Multiple-access performance,” in Proceedings ISITA Symposium, 1998.
- [16] F. Nekoogar, “Ultra - Wideband Communications: Fundamentals and Applications,” United States of America: Prentice-Hall PTR, Aug. 2005.
- [17] H. Kikuchi. “UWB arrives in Japan,” Nikkei Electronics, pages 95-122, Feb. 2003.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] S. Kazimierz, and M. Debra, “Ultra-Wideband Radio Technology,” England: John Wiley & Sons Ltd. 2004.
- [21] M. Di Benedetto, and G. Giancola, “Understanding Ultra Wideband Radio Fundamentals,” New Jersey: Prentice Hall, 2004.
- [22] H. Nekoogar, and R. Prasad, “Introduction to Ultra Wideband for Wireless Communications,” Springer Science, 2009.
- [23] Z. Sahinoglu, S. Gezici, and I. Guvenc, “Ultra-wideband Positioning Systems,” New York: Cambridge University, Inc. 2008.
- [24] “International telecommunications union-radio communications (ITU-R), radio regulations, section 5.138 and 5.150,” [Online]. Available: www.itu.int/home. 2013.
- [25] J. Farserotu, A. Hutter, F. Platbrood, J. Gerrits ans A. Pollini, “UWB Transmission and MIMO Antenna Systems for Nomadic User and Mobile PAN,” Wireless Personal Communications, no. 22, pp. 197-317, 2002.
- [26] 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.
- [27] 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.

- [28] 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.
- [29] A. Mehaoua, "Wireless Body Area Networks for HealthCare," SIEPCPC 2013 Workshop on Pervasive HealthCare, Apr. 27, 2013.
- [30] E. Schylander, "15WNG Guidelines for New Work Items," IEEE 802.15-06-0002-01, Jan. 2006.
- [31] Project Authorization Request (PAR) for P802.15.6, 15-07-0575-09-0ban-ban-draft-par-doc.rtf.
- [32] 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
- [33] 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.
- [34] B. Zhen, H. B. Li, and R. Kohno, "IEEE body area networks and medical implant communications," Proceedings of the ICST 3rd International Conference on Body Area Networks, Tempe, Arizona, 2008.
- [35] 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
- [36] "Federal communications commission (FCC), code of federal regulations (CFR), title 47 part 95, MICS band plan," [Online]. Available: www.fcc.gov, Mar 03, 2013.
- [37] Y. Kamyaz Yazdandoost et al, "Channel Characterization for BAN Communications," IEEE802.15-07-0641-00-0ban.
- [38] Yazdandoost and Sayrafian, "Channel Model for Body Area Network (BAN)," IEEE P802.15-08-0780-09-0006, Apr. 2009.
- [39] 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.
- [40] 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.
- [41] 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.

- [42] 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.
- [43] 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.
- [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.
- [45] T. Rappaport, "Wireless Communications: Principles and Practice," 2nd Edition: Prentice Hall, 2001.
- [46] Skycross Company. "3.1-10 GHz Ultra-Wideband Antenna for Commercial UWB Applications." [Online]. Available: <http://www.skycross.com/>. 2003.

ภาคผนวก ก

บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ระดับนานาชาติ

- [1] S. Teawchim, and S. Promwong, “Characteristic of Ultra Wideband Body Area Network Channel,” *Advanced Science Letters*, Vol. 21, 3194–3197, 2015

ผลงานวิจัยที่ได้นำเสนอในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ

- [1] S. Teawchim, P. Supanakoon and S. Promwong, “Experimental Study of Ultra Wideband Human Body Channel,” *International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON2016)*
- [2] S. Teawchim, and S. Promwong, “Experimental Evaluation of UWB Human body Transmission Model for WBAN” *International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON2016)*

ผลงานวิจัยร่วมได้นำเสนอในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ

- [1] K. Tantiwat, S. Teawchim, S. Promwong and P. Supanakoon “Evaluation of Wireless Ultra Wideband Body Area Network with Different Body Mass Indexes” *The International Conference on Embedded Systems and Intelligent Technology (ICESIT 2013)*
- [2] K. Tantiwat, S. Teawchim, S. Promwong and P. Supanakoon “Channel Modeling of Ultra Wideband Wireless Body Area Network” *Thailand – Japan MicroWave2012*
- [3] J. Sahakit, S. Teawchim, P. Supanakoon and S. Promwong, “Characteristic of Transmission on Body Surface for Wireless Body Area Network,” *2012 International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology (ICEAST 2012)*, pp. 424-429, Nov. 2012.
- [4] B. Rattanakarn, S. Teawchim, S. Promwong “WBAN-UWB for Short Range Wireless Communications,” *2013 The 2013 International Electrical Engineering congress (iEECON2013)*, Chiang Mai, Thailand, Mar 13-15, 2013

VOLUME 21 • NUMBER 10

OCTOBER 2015

www.aspbs.com/science

Advanced
SCIENCE
 A Journal Dedicated to All Aspects
 of Scientific Research **LETTERS**

Editor-in-Chief: Dr. Hari Singh Nalwa, USA

A Special Issue on
3rd International Conference on Internet Services Technology and Information Engineering
 (ISTIE 2015) Kuta, Bali, Indonesia, 30 - 31 May 2015
 GUEST EDITORS: Ford Lumban Gaol and Benfano Soewito



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Volume 21, Number 10 (October 2015) **pp.2947-3428**

A SPECIAL ISSUE

Selected Peer-Reviewed Articles from the 3rd International Conference on Internet Services Technology and Information Engineering 2015 (ISTIE 2015), Discovery Kartika Plaza Hotel, Kuta, Bali, Indonesia, 30-31 May, 2015

Guest Editors: *Ford Lumban Gaol and Benfano Soewito*

Adv. Sci. Lett. 21, 2947-2951 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

REVIEWS

A Review on Feature Selection Methods for Sentiment Analysis

Lai Po Hung, Rayner Alfred, and Mohd Hanafi Ahmad Hijazi

Adv. Sci. Lett. 21, 2952-2956 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

A Review on the Ensemble Framework for Sentiment Analysis

Lai Po Hung, Rayner Alfred, Mohd Hanafi Ahmad Hijazi, and Ag. Asri Ag. Ibrahim

Adv. Sci. Lett. 21, 2957-2962 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

ICT Intervention and Palliative Care: A Review

Noor Azizah Mohamadali, Adebiji Lookman Ademola, Mira Kartiwi, and Zainatul Shima

Adv. Sci. Lett. 21, 2963-2966 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

RESEARCH ARTICLES

Low Loss Magnetic Design for Wireless Power Transfer

Heinz Zenkner and Werachet Khan-Ngern

Adv. Sci. Lett. 21, 2967-2973 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Design of a Quality of Experience-Based Digital Convergence iHome

Hao-Hsiang Ku and Ching-Ho Chi

Adv. Sci. Lett. 21, 2974-2978 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

The Study of Wireless Power Transmission Under Water-to-Air Mode

Werachet Khan-Ngern and Heinz Zenkner

Adv. Sci. Lett. 21, 2979-2984 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Study on Optimization of Valve Parameter for Multi-Cylinder Synchronous Control System

Gwang Seok Kim and Deok Jin Lee

Adv. Sci. Lett. 21, 2985-2988 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

A Wireless Water Flow Monitoring in a Closed Channel Pipeline for Leakage Detection

Anif Jamaluddin, Pety Refiyanti, Dewanto Harjunowibowo, Lita Rahmasari, Jamzuri, R. Dwi Teguh, and A. Priyo Heru

Adv. Sci. Lett. 21, 2989-2992 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Precise Indoor Positioning Algorithms for Autonomous Hexa-Rotor Using Cubature Kalman Filter

Byeongju Kang, Kil To Chong, and Deokjin Lee

Adv. Sci. Lett. 21, 2993-2996 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Computational Modeling of Mood from Sequence of Emotions

Dini Handayani, Hamwira Yaacob, Abdul Wahab Abdul Rahman, Wahyu Sediono, and Asadullah Shah

Adv. Sci. Lett. 21, 2997-3001 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Making a Successful Agile Team

Beni Suranto

Adv. Sci. Lett. 21, 3002-3006 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Optimized Performance Result for 2.4 GHz and 2.45 GHz Circularly Polarized Microstrip Antenna

Rudy Yuwono, Ronanobelta Syakura, Erni Yudaningtyas, and Endah B. Purnomowati

Adv. Sci. Lett. 21, 3007-3008 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Cultural-Influenced Speech Emotion Recognition System Using Multi Layer Perceptron and Support Vector Machine

Norhaslinda Kamaruddin, Abdul Wahab, and Anis Abd. Kamal Sayuti

Adv. Sci. Lett. 21, 3009-3013 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Indoor 3D Mapping Technique Based on 3D Image Transformation Using Kinect Sensor

Doopalam Tuvshinjargal, Byeongju Kang, Kil To Chong, and Deok Jin Lee

Adv. Sci. Lett. 21, 3014-3018 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

A New Technique for Protecting Server Against MAC Spoofing via Software Attestation

Kamarularifin Abd Jalil, Nor Shahniza Kamal Bashah, and Mohd Hariz Naim @ Mohayat

Adv. Sci. Lett. 21, 3019-3023 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Precursor Emotion of Driver by Using Electroencephalogram (EEG) Signals

Norzaliza Md Nor and Abdul Wahab Bar

Adv. Sci. Lett. 21, 3024-3028 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Optimized Walficsh-Bertoni Model for Path Loss Prediction DTTV Propagation in Urban Area of Southern Thailand

Pitak Keawbunsong, Pitchaya Supannakoon, and Sathaporn Promwong

Adv. Sci. Lett. 21, 3029-3032 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Mobile Navigation System Using Fuzzy C-Mean Clustering and Subtractive Clustering Based on Fingerprinting Technique

Jirapat Sangthong and Sathaporn Promwong

Adv. Sci. Lett. 21, 3033-3036 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

A Performance Comparison of Statistical and Machine Learning Techniques in Learning Time Series Data

Haviluddin, Rayner Alfred, Joe Henry Obit, Mohd Hanafi Ahmad Hijazi, and Ag Asri Ag Ibrahim

Adv. Sci. Lett. 21, 3037-3041 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Effect of Vortex Order on Helical-Phased Donut Mode Launch in Multimode Fiber

Angela Amphawan, Yousef Fazea, Tarek Elfouly, and Khalid Abualsaud

Adv. Sci. Lett. 21, 3042-3045 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Optical Mode Division Multiplexing for Secure Ro-FSO WLANs

Angela Amphawan, Sushank Chaudhary, Tarek Elfouly, and Khalid Abualsaud

Adv. Sci. Lett. 21, 3046-3049 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Hermite-Gaussian Mode Division Multiplexing for Free-Space Optical Interconnects

Angela Amphawan, Sushank Chaudhary, and Tse-Kian Neo

Adv. Sci. Lett. 21, 3050-3053 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Radio Subcarrier Spacing Effect on SCM-MDM Using HG Modes in Radio-Over-Fiber

Baseem Khalaf Alsharaa, Angela Amphawan, and Tse-Kian Neo

Adv. Sci. Lett. 21, 3054-3058 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Analysis of Data Quality Maturity in a Higher Education Institution

Yohana Dewi Lulu Widyasari, Adhistya Erna Permanasari, Ridi Ferdiana, and Lukito Edi Nugroho

Adv. Sci. Lett. 21, 3059-3063 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Optimization of Path Loss Model for Prediction DTTV Propagation in Urban Area of Southern Thailand

Pitak Keawbunsong, Pitchaya Supannakoon, and Sathaporn Promwong

Adv. Sci. Lett. 21, 3064-3068 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Context-Aware Mobile Learning Model for Traveler

Dadang Syarif Sihabudin Sahid, Lukito Edi Nugroho, Ridi Ferdiana, and Paulus Insap Santosa

Adv. Sci. Lett. 21, 3069-3073 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Oriented Bounding Box Optimization on the Rotation Group $SO(3, R)$ Based on Particle Swarm Optimization-Nelder Mead

Taslimatul Atsna Faizati, Guruh Fajar Shidik, and Vincent Suhartono

Adv. Sci. Lett. 21, 3074-3078 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Prediction of CO₂ Emissions Using an Artificial Neural Network: The Case of the Sugar Industry

Chairul Saleh, Raden Achmad Chairdino Leuveano, Mohd Nizam Ab Rahman, Baba Md Deros, and Nur Rachman Dzakiyullah

Adv. Sci. Lett. 21, 3079-3083 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Classification of Resting State Electroencephalography for the Identification of Asperger's Syndrome

Nurul Izzati Mat Razi, Marini Othman, and Abdul Wahab

Adv. Sci. Lett. 21, 3084-3087 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Identification of Pure and Impure Palmyrah Palm Juice by Using Microwave Sensor System

Rachen Kanahna, Panisa Keowsawat, Sathaporn Promwong, and Chuwong Phongcharoenpanich

Adv. Sci. Lett. 21, 3088-3091 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Semantic Graph Application to Call Center for Entity-Relation Search

Takahiro Kawamura and Akihiko Ohsuga
 Adv. Sci. Lett. 21, 3092-3098 (2015)
[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

A Resilient Exponential Smoothing Method for Link Speed Forecasting
Kyung-Il Choe
 Adv. Sci. Lett. 21, 3099-3101 (2015)
[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Semantic Representation of Virtual Humans
Mezati Messaoud, Foudil Cherif, Cédric Sanza, and Véronique Gaildrat
 Adv. Sci. Lett. 21, 3102-3105 (2015)
[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Integrating Cognitive Load Theory in Video Based Learning Environment
Nur Khairiyah Kadar, Norah Md Noor, and Juhazren Junaidi
 Adv. Sci. Lett. 21, 3106-3109 (2015)
[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

A Business Intelligence-Driven Approach to Government Enterprise Architecture
Teduh Dirgahayu
 Adv. Sci. Lett. 21, 3110-3113 (2015)
[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

FWAT (Fast Wartegg Analyzer Tool) for Personality Identification
Rosihan Ari Yuana, Dewanto Harjunowibowo, and Nugroho Karyanta
 Adv. Sci. Lett. 21, 3114-3117 (2015)
[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Factors Persuading Nuts and Bolts of Agile Estimation
Saru Dhir and Deepak Kumar
 Adv. Sci. Lett. 21, 3118-3122 (2015)
[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Graph Extraction Algorithm for Volumetric Segmentation
Dumitru Dan Burdescu, Liana Stanescu, Marius Brezovan, Cosmin Stoica Spahiu, and Daniel Costin Ebanca
 Adv. Sci. Lett. 21, 3123-3127 (2015)
[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Predicting Traffic Accident Severity Using Classification Techniques
Seok-Lyong Lee
 Adv. Sci. Lett. 21, 3128-3131 (2015)
[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Modeling Product Design Knowledge
Haryani Haron, Mohd Nazri Mustafa, M. Hamiz, and Nor Diana Ahmad
 Adv. Sci. Lett. 21, 3132-3136 (2015)
[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Identification E-Learning Readiness in the Faculty of Agricultural Technology Jambi University
Kurniabudi, SetiawanAssegaff, and Sharipuddin
 Adv. Sci. Lett. 21, 3137-3141 (2015)
[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Understanding the Correlation of Explicit and Implicit Memory Effectiveness Using Electroencephalograph-Based Emotional Arousal
Khamis Faraj Alarabi, Abdul Wahab, Mariam Adawiah Dzulkifli, and Norhaslinda Kamaruddin
 Adv. Sci. Lett. 21, 3142-3145 (2015)
[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

An Investigation on the Use of Mobile Devices Among Older People
Sofianiza Abd Malik, Muna Azuddin, Lili Marziana Abdullah, and Murni Mahmud
 Adv. Sci. Lett. 21, 3146-3150 (2015)
[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Linear Vector Quantization Algorithm for Pattern Recognition on Paper Currency's Feature Using UV Light
Dewanto Harjunowibowo, Anif Jamaluddin, Sri Hartati, Rosihan Ari Yuana, Aris Budianto, and Farid Ahmadi
 Adv. Sci. Lett. 21, 3151-3155 (2015)
[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Cloud Storage Security Based on Group Key
Parinya Natho and Pramote Kuacharoen
 Adv. Sci. Lett. 21, 3156-3160 (2015)
[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

The Proposed Public Key Infrastructure Authentication Framework (PKIAF) for Malaysian Government Agencies
Noraída Aman Nor, Ganthan Narayana Samy, Rabiah Ahmad, Roslina Ibrahim, and Nurazeen Maarop
 Adv. Sci. Lett. 21, 3161-3164 (2015)
[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Tablet Technology and Apps to Enhance Slow Learners Motivation in Learning
Azizzeanna Hassan and Murni Mahmud
 Adv. Sci. Lett. 21, 3165-3169 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Enhanced Classification Performances of Travel and Tourism Competitiveness Model with Feature Selection

Anongnart Srivihok and Arunee Intrapairot

Adv. Sci. Lett. 21, 3170-3174 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Design Optimization Shape Web Opening of Cellular Steel Beams

Suharjanto

Adv. Sci. Lett. 21, 3175-3179 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Teaching Duet in Social Sciences Education in Promoting Critical Thinking Abilities

Nurul'izzati Hamizan, Norasykin Mohd Zaid, and Norah Md. Noor

Adv. Sci. Lett. 21, 3180-3184 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Pathloss Calculation and Analysis Using Different Carrier Frequency on Wideband Code Division Multiple Access Technology

Ir. Endah Budi Purnomowati, Gaguk Asmungi, and Anindito Yusuf Wirawan

Adv. Sci. Lett. 21, 3185-3188 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Internet Banking Transaction Authentication Using Mobile One-Time Password and QR Code

Puchong Subpratatsavee and Pramote Kuacharoen

Adv. Sci. Lett. 21, 3189-3193 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Characteristic of Ultra Wideband Body Area Network Channel

Sanit Teawchim and Sathaporn Promwong

Adv. Sci. Lett. 21, 3194-3197 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Knowledge Management Implementation of Virtual Corporate Memory in Institutions of Higher Learning

Suzana Basaruddin, Haryani Haron, Wan Nor Hannani Wan Dagang, Siti Arpah Noordin, and Nor Diana Ahmad

Adv. Sci. Lett. 21, 3198-3200 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

A System to Identify Technological Chances in Technology-Based Services

Chulhyun Kim and Moon-Soo Kim

Adv. Sci. Lett. 21, 3201-3204 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Statistical Analysis Carbon Footprint in Supply Chain Management

Akhmad Fauzy, Chairul Saleh, Nashrullah Setiawan, and Luqman Hakim

Adv. Sci. Lett. 21, 3205-3209 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Application of Simulation Approach to Predict Carbon Emissions in Sugar Industry

Chairul Saleh, Nashrullah Setiawan, Nur Feriyanto, Akhmad Fauzy, and Riza Nurhidayati

Adv. Sci. Lett. 21, 3210-3213 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Hybrid SCOR-SD Performance Measurement MTS-MTO Production Typology for Batik Industry

Taufiq Immawan, Marimin, Yandra Arkeman, and Agus Maulana

Adv. Sci. Lett. 21, 3214-3218 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Techniques for Improving Website Rankings with Search Engine Optimization (SEO)

Kittisak Chotikitpat, Prachyanun Nilsook, and Sunantha Sodsee

Adv. Sci. Lett. 21, 3219-3224 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Development of Student Data Mart Using Normalized Data Store Architecture

Luthfia Rahman, Slamet Riyadi, and Eko Prasetyo

Adv. Sci. Lett. 21, 3225-3229 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Security Issues of Ad-Hoc Network of Sensor Node in Disaster Mitigation Plan

Sera Syarmila Sameon and Norziana Jamil

Adv. Sci. Lett. 21, 3230-3233 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

A New Model of StegaSVM-Shifted LSB in Discrete Cosine Transform Domain on Image Steganography Approach

Hanizan Shaker Hussain, H. Yaacob, M. Sabri, A. Azmer, and Roshidi Din

Adv. Sci. Lett. 21, 3234-3238 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Continuous Review Probabilistic Inventory Analysis Using Type-2 Fuzzy Logic

Muhammad Ridwan Andi Purnomo

Adv. Sci. Lett. 21, 3239-3242 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Identifying the Level of User Awareness and Factors on Phishing Attempt Among Students

Vanisri Nagalingam, Ganthan Narayana Samy, Rabiah Ahmad, Nurazeen Maarop, and Roslina Ibrahim
 Adv. Sci. Lett. 21, 3243-3247 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Physicians' Acceptance of Electronic Health Records Exchange: An Extension of the with UTAUT2 Model Institutional Trust

Malik Bader, Alazzam, Abd. Samad Hasan Basari, Abdul Samad Sibghatullah, Mohamed Doheir,
 Noorayisahbe Mohd Yaacob, and Farah Aris
 Adv. Sci. Lett. 21, 3248-3252 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

An Integer Programming Model for the Integrated Hub Location and Multi-Hub Vehicle Routing Problem

Ji Ung Sun

Adv. Sci. Lett. 21, 3253-3256 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

A Non-Parametric Measurement of Supercomputers Performance

Corrado Io Storto

Adv. Sci. Lett. 21, 3257-3260 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Switch Control Scheme to Mitigate Conducted Electromagnetic Interference Emission in Light Emitting Diode Driver

Mohammad Yanuar Hariyawan, Risanuri Hidayat, and Eka Firmansyah

Adv. Sci. Lett. 21, 3261-3265 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Localization of Index Finger Using Radar Cross Section Measurements for Touchless Keypad Model

Wipassorn Vinichayakul, Pichaya Supanakoon, and Sathaporn Promwong

Adv. Sci. Lett. 21, 3266-3269 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Application of Markov's Normal Algorithm

Guruh Fajar Shidik and Reza Pulungan

Adv. Sci. Lett. 21, 3270-3273 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Performance Evaluation of Distance Measurement in Biometric Finger Knuckle Print Recognition

Guruh Fajar Shidik, Syafiq Wardani Dausat, Rima Dias Ramadhani, and Fajrian Nur Adnan

Adv. Sci. Lett. 21, 3274-3277 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Particle Swarm Optimization for Vendor Managed Inventory Control System of Multi Product Multi Constraints

Dwi Ana Ratna Wati, Nur Rachman Dzakiyullah, Chairul Saleh, and Bayu Pebrian Prakoso

Adv. Sci. Lett. 21, 3278-3282 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Software Reusability in Green Computing

Haryani Haron, Ibraheem Y. Y. Ahmaro, Syed Ahmad Aljunid, and M. Bakri

Adv. Sci. Lett. 21, 3283-3287 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Distortion Analysis of Indoor and Outdoor Limit with Biconical Antenna for Ultra Wideband System

Chairak Deepunya and Sathaporn Promwong

Adv. Sci. Lett. 21, 3288-3291 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Evaluation of VM Selection Policy in Minimizing Cost Energy VM Migration at Dynamic Virtual Machine Consolidation

Guruh Fajar Shidik, Azhari, and Khabib Mustofa

Adv. Sci. Lett. 21, 3292-3295 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Indoor Radar Cross Section Measurements of Aluminum Hollow Rod for Ultra Wideband Applications

Wipassorn Vinichayakul, Pichaya Supanakoon, and Sathaporn Promwong

Adv. Sci. Lett. 21, 3296-3299 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

A Comparative Analysis of Stream Data Classifiers and Conventional Classifiers for Anomaly Intrusion Detection

S. Ranjitha Kumari and P. Krishna Kumari

Adv. Sci. Lett. 21, 3300-3304 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

Information Technology in the Accounting

Farida Yerdavletova

Adv. Sci. Lett. 21, 3305-3307 (2015)

[\[Abstract\]](#) [\[Full Text - PDF\]](#) [\[Purchase Article\]](#)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



AMERICAN
SCIENTIFIC
PUBLISHERS

Copyright © 2015 American Scientific Publishers
All rights reserved
Printed in the United States of America

Advanced Science Letters
Vol. 21, 3194–3197, 2015

Characteristic of Ultra Wideband Body Area Network Channel

Sanit Teawchim* and Sathaporn Promwong

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

This paper presents characteristic of ultra wideband body area network (UWB-BAN) channel. The passband rectangular waveform and passband root raised cosine (RRC) waveform are provided to transmit signal. In this paper, an investigation channel measured by using a network analyzer and performed a frequency ranged with 3 GHz–5 GHz. The meander line miniature antennas were taken to obtain as a transmitter and receiver antenna side, respectively. The 12 sample bodies with 10 positions of each body were considered. The linear regression model of large-scale path loss and cumulative distribution function (PDF) of multipath fading factor based on average and peak power loss are shown. Measurement data are useful to predict the performance of UWB-BAN system.

Keywords: Ultra Wideband Body Area Network (UWB-BAN), Path Loss, Multipath Fading.

1. INTRODUCTION

Wireless BAN (WBAN)¹ is a new feature challenging of short range communications. This technology has an important role in medical, and science applications. The IEEE 802.15.6 task group is standard for WBAN application, this standard cover many technology, e.g., ZigBee, Radio frequency identification (RFID), Bluetooth, Ultra wideband (UWB),² etc., the type of BANs communication could be identified in four communication scenarios between device and as Ref. [3].

*CM1: Implantable to Implant: the entire node is located in the human body.

*CM2: Implantable to On The Body: at least one node is located in the human body and it's should communicate with outside node, that place on the body or off-body.

*CM3: On Body to Body: all of the nodes involved in the communication place in the human body, all devices directly on the skin, integrated into textile or packed in deference wearable and portable device.

*CM4: Off-Body to On-Body: at least one node of device placed in the off-body, in the general area playing the role of the gateway.

UWB communication is a promising for new application responses to WBAN application, which UWB has low power consumption and can be sent high data rate because large bandwidth signal. UWB low transmit power is significant for using with small devices and long life battery. This lead to UWB is candidate for medical and health application.⁴

*Author to whom correspondence should be addressed.

In this paper, characteristic of UWB-BAN channel is presented. First waveform, the RP waveform and RRCP waveform are considered to transmitted signal waveform and which use as performance evaluated. The CM3⁵ were channel measured modeling using a vector network analyzer (VNA) and operated at a frequency ranged from 3 GHz to 5 GHz. The meander line miniature antennas were applied as a Tx antenna and Rx antenna. The 12 sample bodies with 10 positions of each body were considered. The linear regression model of large-scale path loss and cumulative distribution function (PDF) of multipath fading factor is based on mean value and peak average power loss are shown. The experimental results illustrate more waveform distortion when the distance is increased. The result of path loss has been more distribution than that of average mean loss value. These results are useful to predict the performance of UWB-BAN system.

2. THEORY

This paper considered using RP waveform and RRCP waveform as transmitted signal satisfying low band of IEEE 802.15.4a standard.⁷ The expressions of the PSD of the passband rectangular waveform is

$$V_{t, re}(f) = \begin{cases} 1 & \|f - f_c\| \leq \frac{f_b}{2} \\ 0 & \|f - f_c\| > \frac{f_b}{2} \end{cases} \quad (1)$$

Where $f_c = 3.95$ GHz that denotes the center frequency, $f_b = 1.70$ GHz is the bandwidth.

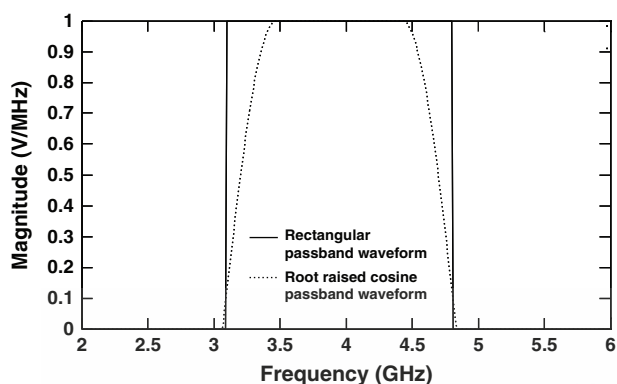


Fig. 1. Normalized spectral density functions of transmitted signal.

The spectral density function of RRC waveform is the waveform with RRC in the frequency domain. Its PSD is defined as

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

Where

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

where $\beta = 0.3$ denotes the roll-off factor and $T = 0.74$ nanosecond that represents the time of symbol-rate.

The transmitted waveform of time domain can be calculated using IFFT as

$$v_t(t) = \int_{-\infty}^{\infty} V_t(f) e^{-j2\pi ft} dt \quad (3)$$

The normalized spectral density functions and time domain waveforms of the passband rectangular waveform and RRC waveform are shown in Figures 1 and 2, respectively.

The PSD of receiving signal can be written as

$$V_r(f) = H_c(f) \oplus H_i(f) \quad (4)$$

where $H_c(f)$ represents a channel transfer function in term of measurement.

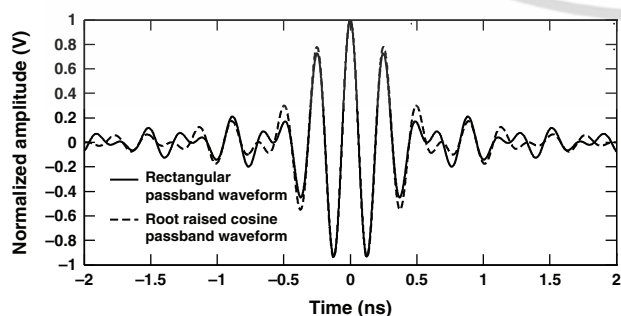


Fig. 2. Normalized time domain waveform of transmitted signal.



Fig. 3. Meander line miniature antenna.

The received waveform in the time domain is evaluated from

$$v_r(t) = \int_{-\infty}^{\infty} V_r(f) e^{-j2\pi ft} dt \quad (5)$$

In this paper, two expressions of path loss formula, which are average power loss and peak power loss (APL-PPL), are considered. The APL-PPL is determined by the ratio between the APL of transmitted signal and APL of received signal.⁸

$$PL_a = 10 \log \left[\frac{\int_{-\infty}^{\infty} |V_t(f)|^2 df}{\int_{-\infty}^{\infty} |V_r(f)|^2 df} \right] \quad (6)$$

The expression of PPL is determined by the ratio between the maximum peak power (MPP) of the transmitted signal and MPP of received signal:

$$PL_p = 10 \log \left\{ \frac{\max[V_t^2(f)]}{\max[V_r^2(f)]} \right\} \quad (7)$$

The path loss UWB-BAN channel consists of path loss and small-scale multipath fading factor:

$$PL = \overline{PL} + X \quad (8)$$



Rx Antennas

A: Left hand

B: Left upper arm

C: Left Ear

D: Head

E: Right shoulder

F: Chest

G: Right rib

H: Left waist

I: Right thigh

J: Right ankle

Fig. 4. Measurement positions on the human body.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า 3195
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

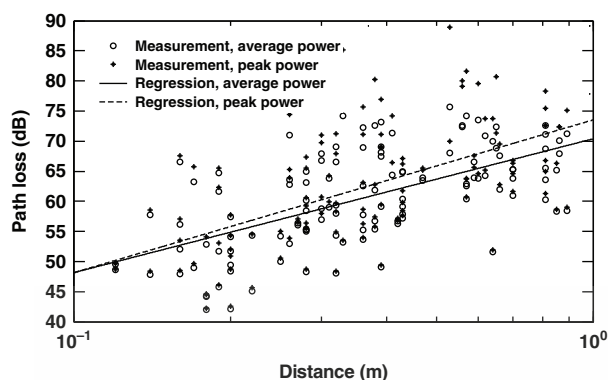


Fig. 5. Large-scale path loss of rectangular passband waveform.

The linear regression model is used to model the large-scale path loss. The expression of linear regression model is

$$\overline{PL} = \overline{PL}(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (9)$$

where d_0 denotes a reference distance and n is a path loss exponent.

The CDF of a random variable X is used to model the small-scale fading factor, which is defined as

$$F_X(x) = P(X \leq x) \quad (10)$$

where P is the probability.

3. MEASUREMENT SETUP

The channel transfer function of UWB-BAN technology was verified using VNA, frequency ranged was fixed from 3 to 5 GHz and 801 frequency points. The meander line miniature antennas (MLMA) were used as transmitter antenna and receiver antennas. The MLMA is illustrated in Figure 3. Also, herein 12 sample of bodies with 10 positions of each body were considered. Figure 4 shows the position on each body. The Tx antenna was changed along point A to point J, while the Rx antenna is fixed at the black circle point.

4. RESULTS

The path loss based on the two waveforms is evaluated to characterize the large-scale path loss and multipath fading factor of

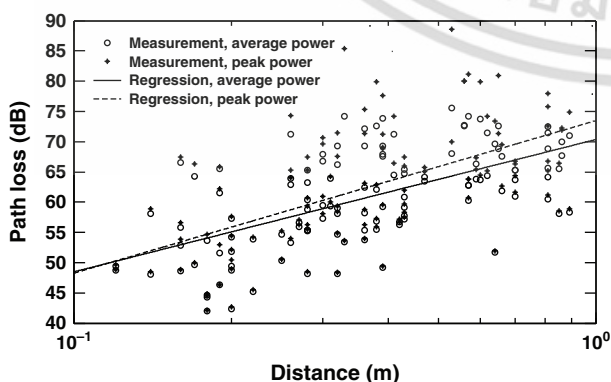


Fig. 6. Large-scale path loss of root raised cosine passband waveform.

Table I. Path loss at reference distance.

	Average (dB)	Peak (dB)
Rectangular passband waveform	70.36	73.50
Root raised cosine waveform	70.33	73.44

Table II. Path loss exponent.

	Average	Peak
Rectangular passband waveform	2.22	2.54
Root raised cosine waveform	2.18	2.52

UWB-BAN channel. Figures 5 and 6 shows the linear regression model of passband rectangular waveform and RRC waveform, respectively. The experiment between APL and PPL indicates as a UWB waveform distortion. From these figures, the difference between both path loss is larger when the distance is increased. That means the distance is increased along the distance. The linear regression model parameters, path loss between reference distance and path loss exponent, are listed in Tables I and II, respectively.

The CDF of the multipath fading factor of RP waveform and RRCP waveform are shown in Figures 7 and 8, respectively. The result of the experiment can be seen that the path loss of peak power loss has more distribution than that of average power loss. The standard deviation is listed in Table III.

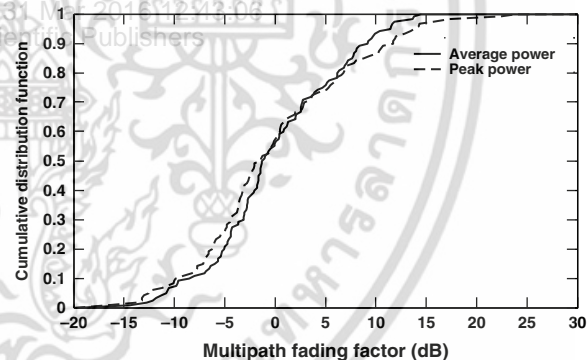


Fig. 7. CDF of multipath fading factor of rectangular passband waveform.

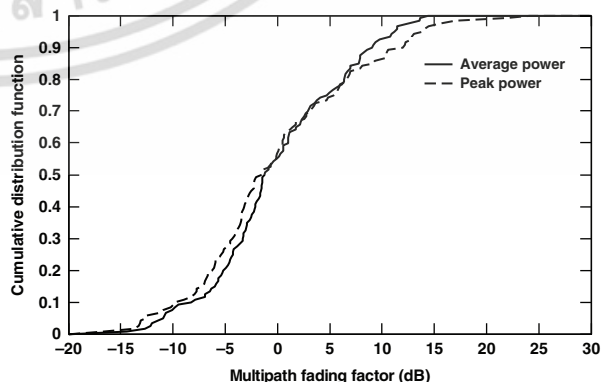


Fig. 8. CDF of the multipath fading factor of RRCP waveform.

3196 บทความนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table III. Standard deviation.

	Average (dB)	Peak (dB)
Rectangular passband waveform	6.41	7.88
Root raised cosine waveform	6.42	7.89

5. CONCLUSION

This paper presents characteristic of UWB-BAN channel. The RP waveform and RRCP waveform are used to transmit signal. The large-scale path loss and multipath fading factor are modeled. From the results, there is more waveform distortion when the distance is increased. The path loss of peak value has been more distribution than the PPL. The results obtained from RP waveform are almost the same as RRCP waveform. Therefore, the RP waveform, which is ideal signal and has a simple formula can be used instead of causal RRCP waveform. These results are useful to predict the performance of UWB-BAN system.

References and Notes

1. M. R. Yuce and J. Khan, *Wireless Body Area Networks: Technology, Implementation, and Applications*, Pan Stanford Publishing (2011).
2. J. Foerster, E. Green, S. Somayazulu, and D. Leeper, *Intel Technol. J.* 5 (2001).
3. A. Alomainy, Y. Hoa, X. Hu, C. G. Parini, and P. S. Hall, UWB on-body radio propagation and system modelling for wireless body-centric network, ultra wideband systems, technologies and applications special section, *IEEE Proceeding-Communication*, February (2006), Vol. 153.
4. F. D. Franco, C. Tachtatzis, B. Graham, M. B. D. C. Tracey, N. F. Timmons, and J. Morrison, The effect of body shape and gender on wireless body area network on body channels, *2010-IEEE APS, Middle East Conference on Antenna and Propagation (MECAP)*, Chiro, Egypt (2010).
5. K. Y. Yazdandoost and K. Sayrafiam, Channel Model for Body Area Network (BAN), IEEE P802.15-08-0780-09-0006, <https://mentor.ieee.org/802.15/dcn/08/15-08-0780-09-0006-tg6-channel-model.pdf>.
6. M. Maman, B. Denis, and R. D'Errico, Research trend in wireless body area network: From on-body to body-to-body cooperation, *8th International Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT)* (2014).
7. P. Supanokoon, K. Wansiang, S. Promwong, and J. Takada, Simple waveform for UWB Communication, *ECTI International Conference*, May (2005), pp. 626–629.
8. T. S. Rapaport, *Wireless Communication—Principles and Practice* Hall, Second edn. (2002).

Received: 14 October 2014. Accepted: 29 November 2014.

Delivered by Publishing Technology to: SANTI TEAWGHIM
IP: 161.226.18.168 On: Thu, 31 Mar 2016 12:43:06
Copyright: American Scientific Publishers

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า 3197
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Final Program

ECTI-CON 2016

Chiang Mai Thailand, June 28 - July 1 , 2016

13th International Conference on Electrical Engineering/Electronics
Computer, Telecommunications and Information Technology



Illustrated by Assoc.Prof. Wichit Chomtaveewiroot

**Rajamangala University of Technology Lanna
Chiang Mai, Thailand**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Experimental Study of Ultra Wideband Human Body Channel

Sanit Teawchim¹, Phouthong Southisombath² and Sathaporn Promwong^{1,2}

¹Department of Telecommunications Engineering, Faculty of Engineering

²International College

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Ladkrabang, Bangkok 10520 Thailand

sanit.te@kmitl.ac.th, tity_sout@hotmail.com and sathaporn.pr@kmitl.ac.th

Abstract—This paper a study of UWB human body channel. The human body is more complex than other application. Therefore, to understand human body channel is so important. The analysis is based on the extension Friis' transmission formula that uses to characterize the WBAN channel transfer function. The rectangular passband waveform is used as UWB transmitted waveform. The channels of 5 positions on human body are measured by using vector network analyzer (VNA). The frequency channel transfer functions, power delay profile (PDP) and path loss are shown. The results are discussed in conclusion.

Keywords— wireless body area network (WBAN), body area network (BAN), ultra wideband (UWB), human body (HB), Friis's transmission formulal

I. INTRODUCTION

The UWB is wireless communication technology are becoming very popular topic in daily life for short range wireless communications. Moreover, wireless body area network (WBAN) has been developed for monitoring soldiers on the battlefield, managing patients in forward locations in emergency management, elder care and rehabilitation purposes. However, there is an increasing demand for effective communication technologies to support emerging health care delivery systems, wireless body area network for sensing and monitoring of vital signs is the one of most rapid growing wireless communication systems. The requirement have led to increasing research and development activities and promote new applications for the ambulatory health monitoring of chronic patients and the elderly population, aiming to improve their quality of life in the WBAN applications area for many purposes. Especially, WBAN and the ultra-wideband technology (UWB) are widely used for a variety of many applications because its potential high data rates, low power consumption and low cost [1], [2].

UWB communications systems can be viewed as spread spectrum systems with an extremely large spreading factor. Traditionally, UWB radio systems have referred to wireless devices with -10 dB fractional bandwidths greater than 25%, or absolute bandwidths greater than 1.5 GHz [3]. This large bandwidth can be achieved by driving an appropriately designed antenna with very short electrical pulses. More recently the Federal Communications Commission (FCC) [4]

has defined a UWB device as one that has a fractional bandwidth greater than 20% or that occupies at least 500 MHz of spectrum. Further, the FCC has regulated the spectral shape and maximum power spectral density of a UWB radiation in order to limit the interference with other systems. Also note in this figure that part 15 (-41.3 dBm/MHz) still applies.

WBAN technology emerges as the natural byproduct of existing body sensor network (BSN) technology and biomedical engineering. BSN technology represents the lower bound of power and bandwidth from the WBAN use case scenarios. However, WBAN technology is quite flexible and there are many potential uses for WBAN technology in addition to BSNs. Some of the more common use cases for WBAN technology are BSN, sports and fitness monitoring, wireless audio, mobile device integration and personal video devices each of these use cases have unique requirements in terms of bandwidth, latency, power usage, and signal distance. IEEE 802.15 is the working group for wireless personal area networks (WPAN) [IEEE 802.15.3] [5]-[6].

The objective of this paper is to study the channel of UWB -HB. The analysis is based on the extension of Friis' transmission formula that uses to characterize the WBAN channel transfer function. The rectangular passband waveform is used as UWB transmitted waveform. The channels of 5 positions on human body are measured by using vector network analyzer (VNA). The frequency channel transfer functions, power delay profile (PDP) and path loss are shown. The results are discussed in conclusion.

II. ANALYSIS OF UWB HUMAN BODY CHANNEL

A. Extension of Friis' Transmission Formula

The Friis' transmission formula has been widely used to evaluated link budget for narrow band system [7] and can be applied to the calculation of the line-of-sight (LOS) channels, which is defined as

$$P_r(f) = [G_t(f)G_c(f)G_r(f)]P_t \quad (1)$$

Where $G_r(f)$ and $G_t(f)$ are Rx and Tx antenna gain

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

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

where P_t and P_r are transmitted and received signal power, G_t and G_r are transmitted and received antenna gain and G_c is gain of channel

Friis' formula is extended taking into account the transmission waveform for UWB system and can be written as

$$V_r(f) = H_t(f)H_c(f)H_r(f)V_t(f) \quad (3)$$

where V_t and V_r are spectral density of transmitted and received signal, H_t and H_r are transmitted and received antenna transfer functions, H_c is channel transfer function and f is frequency.

B. Transmitted Signal

For UWB transmitted signal, the rectangular passband waveform [8] is considered. The expression of UWB transmitted signal v_t in time domain and its spectrum density V_t can be written as

$$v_t(t) = \frac{1}{f_b} [f_H \text{sinc}(2f_H t) - f_L \text{sinc}(2f_L t)] \quad (3)$$

$$V_t(f) = \begin{cases} \frac{A}{2f_b} & \|f - f_c\| \leq \frac{f_b}{2} \\ 0 & \|f - f_c\| > \frac{f_b}{2} \end{cases} \quad (4)$$

where f_H and f_L are highest and lowest frequencies, f_b is bandwidth, f_c is center frequency, A is amplitude and t is time.

C. Received Signal

The spectral density of received signal V_r is calculated by using (2) where term $H_t(f)H_c(f)H_r(f)$ is obtained from channel measurement. Then, the received waveform in time domain v_r is calculated by using inverse Fourier transform of its spectral density, which can be written as

$$v_r(t) = \int_{-\infty}^{\infty} V_r(f) e^{j2\pi ft} df \quad (5)$$

D. Path Loss

In this paper, path loss is defined based on average power loss, which is the ratio between average power of transmitted signal and received signal. The path loss PL in dB can be expressed as

$$PL = 10 \log \left[\frac{\int_{-\infty}^{\infty} v_t^2(t) dt}{\int_{-\infty}^{\infty} v_r^2(t) dt} \right] \quad (6)$$

III. EXPERIMENTAL STUDY RESULTS

A. Measurement Setup

The frequency transfer function of UWB human body channel was measured using VNA frequency ranged from 3 to 11 GHz with 801 frequency points. The meander line miniature antennas [9] were used as transmitted and received antennas. The meander line miniature antenna is shown in fig. 1. The 5 positions of human body were considered. Fig. 2 shows the position on human body. The transmitted antenna was changed along point 1 to point 5, while the received antenna is fixed at the navel of human body.



Fig. 1 Meander line miniature antenna [9].

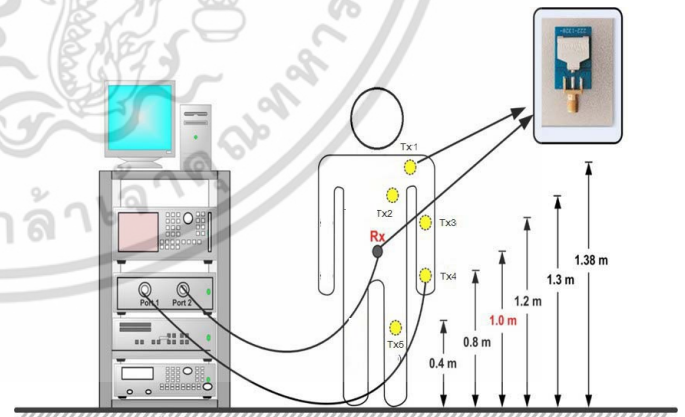


Fig. 2 The measurement point on human body.

For signal parameters, the highest and lowest frequencies are set to $f_H = 10.6$ GHz and $f_L = 3.1$ GHz, respectively. Therefore, the bandwidth and center frequency are $f_b = 7.5$

GHz and $f_c = 6.85$ GHz, respectively. The spectral density and signal waveform are shown in Figs 3 and 4, respectively.

Table I. Measurement Parameters

Parameter	Value
Frequency range	3.1 GHz – 10.6 GHz
Number of frequency points	801
Tx antenna	0.4m - 1.38m
Rx antenna	1 m
Rx antenna type	Meander line
Number of position	5 point

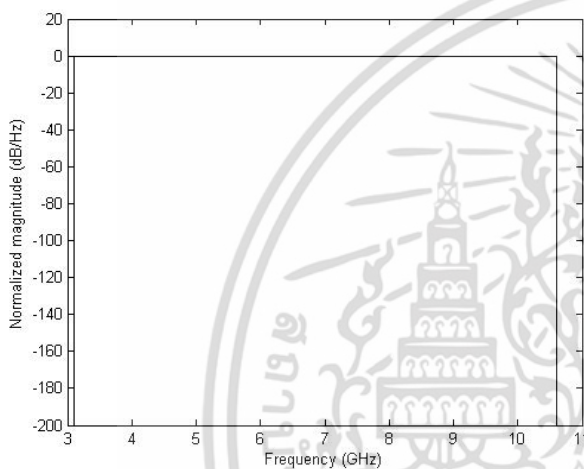


Fig. 3 The spectral density of transmitted signal.

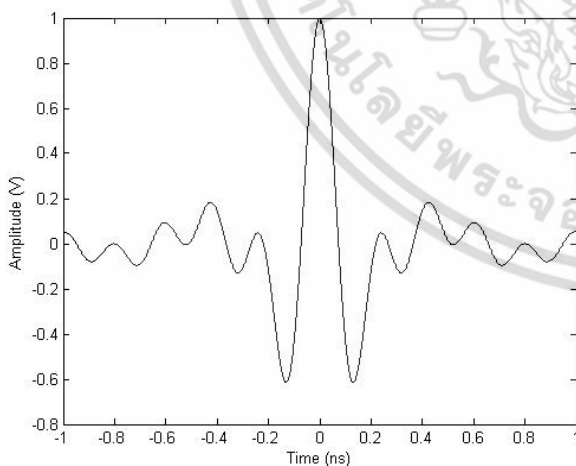


Fig. 4 The transmitted signal waveform of UWB-BAN system.

B. Results

The example of magnitude of human body channel frequency transfer function at points 1, 3 and 5 are shown in Fig. 5. From the figure, it can see that the magnitude of point 1 is highest, while the magnitude of point 5 is lowest.

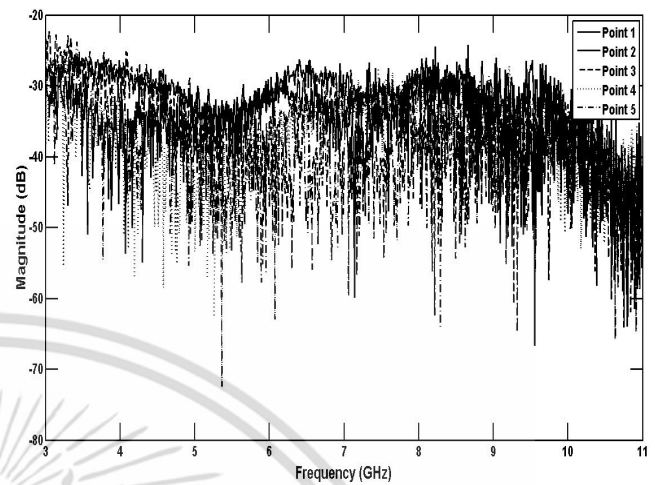


Fig. 5 Magnitude of UWB-HB channel transfer function.

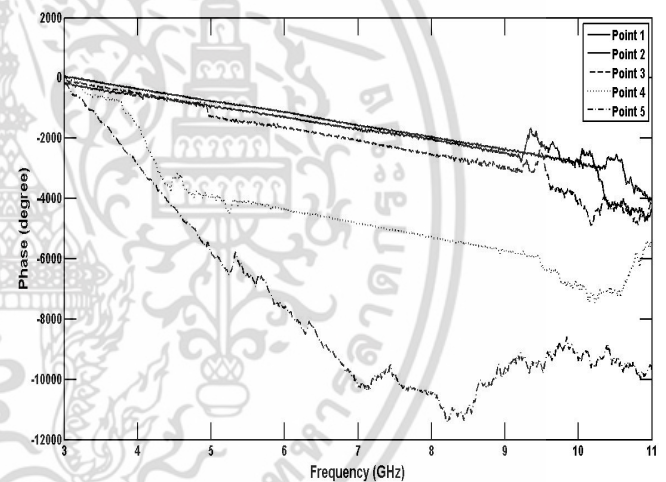


Fig. 6 Phase of UWB-HB channel transfer function.

The example of phase of human body channel frequency transfer function all point shown in Fig. 6. For the comparison, the phase of point 1 is maximum linearity, while the phase of point 5 is minimum linearity.

The results from the two are consistent. The magnitude and phase base on the distance. The absorbing body has little effect on phase

Fig. 7 shows PDP of human body channel. The excess delay of all point are almost the same. The excess delay of point 4 is slightly higher. The excess delay of point 5 is highest. For the power, the power of point 1 is a maximum, while the power of point 5 is a minimum.

References

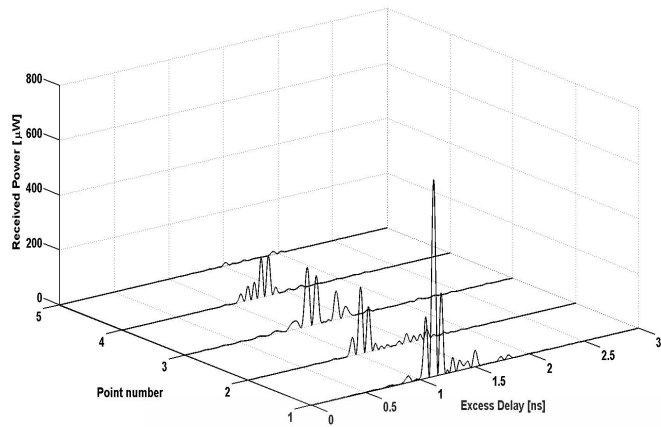


Fig. 7 Power delay profile (PDP) of human body channel.

Fig. 8 shows path loss of human body channel. For the results, we can see that path loss on point 1 is lowest and point 5 is highest when compared with other position. However, the path loss is increased the effect may come from environment and human body absorption.

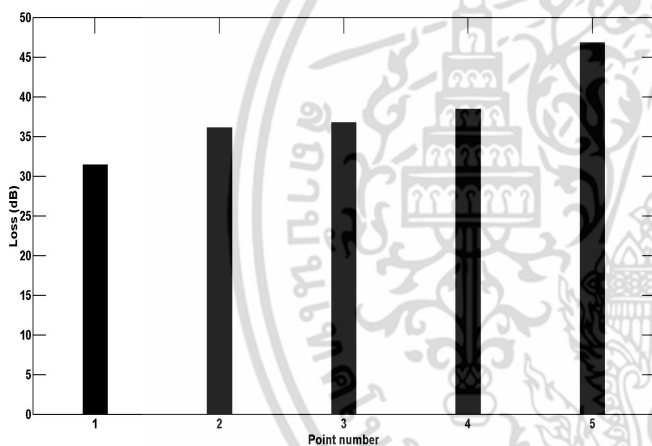


Fig. 8 Path loss of UWB-HB channel.

IV. CONCLUSION

This paper studies the channel of UWB human body. The channels of 5 positions on human body, which are shoulder, chest, elbow, wrist and knee, are considered. From the results, the magnitude, phase, PDP and path loss of channel at shoulder are best, while these of channel at knee are worse. These results are useful to predict the performance of UWB-BAN system. For the future work, we will evaluate the performance of UWB transmission at each position in human body.

- [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] Kazimierz Siwiak, Debra Mc. Keown, "Ultra-Wideband Radio Technology," John Wiley & Sons, Ltd, 2004.
- [4] FCC First Report and Order, Revision of the Part 15 Commission's Rules Regarding Ultra-Wideband Transmission Systems, ET-Docket 98-153, April 22, 2002.
- [5] IEEE. IEEE 802.15 TG-6 Body Area Networks (BAN), 2011 [visited May 2011].
- [6] Daniel Lewis (Ed). 802.15.6 call for applications - response summary. Technical report, IEEE, January 2009 [visited June 2011].
- [7] H.T. Friis, "A Note on A Simple Transmission Formula," Proceedings of IRE, vol. 34, no. 5, pp. 254-256, May. 1946.
- [8] P. Supanakoon, K. Wansiang, S. Promwong and J. Takada, "Simple Waveforms for UWB Communication," ECTI International Conference, pp. 626-629, May 2005.
- [9] Skycross Company. "3.1-10 GHz Ultra-Wideband Antenna for Commercial UWB Applications." [Online]. Available: <http://www.skycross.com/>. 2003

Final Program

ECTI-CON 2016

Chiang Mai Thailand, June 28 - July 1 , 2016

13th International Conference on Electrical Engineering/Electronics
Computer, Telecommunications and Information Technology



Illustrated by Assoc.Prof. Wichit Chomtaveewiroot

**Rajamangala University of Technology Lanna
Chiang Mai, Thailand**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Experimental Evaluation of UWB Human body Transmission Model for WBAN

Sanit Teawchim and Sathaporn Promwong

¹Department of Telecommunications Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Ladkrabang, Bangkok 10520 Thailand
sanit.te@kmitl.ac.th and sathaporn.pr@kmitl.ac.th

Abstract—This paper presents experimental evaluation of UWB human body transmission model for WBAN. The human body is more complex and many side than other application. Therefore, to understand human body channel is so important. The root raise cosine passband waveform is used as UWB transmitted waveform. The channels model is classified with body mass index. The body channel transfer functions on human body are measured by using vector network analyzer (VNA) at frequency 3 GHz to 5 GHz. The path loss model is show compared of average power loss and peak power loss. The results are discussed in conclusion.

Keywords— *wireless body area network (WBAN), body area network (BAN), ultra wideband (UWB), human body (HB), Friis's transmission formula*

I. INTRODUCTION

Wireless body area network (WBAN) is new standard of short range communication. WBAN has been developed for many application such as, military, health care, Tele-medicine and multimedia. WBAN socialize with many wireless technologies as Bluetooth, ZigBee, Wireless Local Area network (WLAN), Wireless Personal Area Network (WPAN) However, there is an increasing demand for effective communication technologies to support emerging health care delivery systems, wireless body area network for sensing and monitoring of vital signs is the one of most rapid growing wireless communication systems. The requirement have led to increasing research and development activities and promote new applications for the patients and the elderly population, aiming to improve their quality of life in the WBAN applications area for many purposes.

UWB are widely used for many applications because its potential high data rates, low power consumption and low cost [1], [2]. UWB communications systems is different from other radio frequency cause transmitted with short pulse and can be viewed as spread spectrum systems with an extremely large spreading factor. UWB radio systems have referred to wireless devices with -10 dB fractional bandwidths greater than 25%, or absolute bandwidths greater than 1.5 GHz [3]. More recently the Federal Communications Commission (FCC) [4] has defined a UWB device as one that has a fractional bandwidth greater than 20% or that occupies at least 500 MHz of spectrum. Further, the FCC has regulated the spectral shape and maximum power spectral density of a UWB radiation in

order to limit the interference with other systems. Also note in this figure that part 15 (-41.3 dBm/MHz) still applies

In IEEE 802.15.6[4], WBAN are divide to 4 channel model and 7 scenario part as Table I

Table I Scenario and Description of Channel Model in IEEE802.15.6 [5]

Scenario	Description	Frequency Band	Channel Model
S1	Implant to Implant	402-405 MHz	CM1
S2	Implant to Body Surface	402-405 MHz	CM2
S3	Implant External	402-405 MHz	CM2
S4	Body Surface to Body Surface (NLOS)	13.5, 50, 400, 600, 900 MHz 2.4, 3.1-10.6 GHz	CM3
S5	Body Surface to Body Surface (NLOS)	13.5, 50, 400, 600, 900 MHz 2.4, 3.1-10.6 GHz	CM3
S6	Body Surface to External(LOS)	13.5, 50, 400, 600, 900 MHz 2.4, 3.1-10.6 GHz	CM4
S7	Body Surface to External(NLOS)	13.5, 50, 400, 600, 900 MHz 2.4, 3.1-10.6 GHz	CM4

The objective of this paper is to study the channel of UWB on human body. The analysis is based on path loss model and regression model that used show WBAN channel transfer function. The root raise cosine passband waveform is used as UWB transmitted waveform.

The CM3 were channel measured modeling using a vector network analyzer (VNA) and operated at a frequency ranged from 3 GHz to 5 GHz. The meander line miniature antennas were applied as a Tx antenna and Rx antenna. The 12 sample bodies with 10 positions of each body, which classify by mass body index, were considered. The linear regression model of large-scale path loss, cumulative distribution function (CDF) of multipath fading factor and peak average power loss are shown. The experimental results illustrate more waveform distortion when the distance is increased. The result of path

loss has been more distribution than that of average mean loss value. These results are useful to predict the performance of UWB-BAN system.

II. ANALYSIS OF UWB HUMAN BODY CHANNEL

A. Transmitted Signal

The root raised cosine passband waveform is the waveform with root raise cosine spectrum. Its spectral density function is defined as

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

where

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

$T = 0.74$ ns is the reciprocal of the symbol-rate and $\beta = 0.3$ is the roll-off factor.

B. Received Signal

The spectral density of received signal V_r is calculated by using multiplication in term $H_t(f)H_c(f)H_r(f)$ is obtained from channel measurement. Then, the received waveform in time domain v_r is calculated by using inverse Fourier transform of its spectral density, which can be written as

$$v_r(t) = \int_{-\infty}^{\infty} V_r(f) e^{j2\pi ft} df \quad (3)$$

C. Path Loss

In this paper, path loss is defined based on average power loss, which is the ratio between average power of transmitted signal and received signal. The path loss PL in dB can be expressed as

$$PL_a = 10 \log \left[\frac{\int_{-\infty}^{\infty} v_t^2(t) dt}{\int_{-\infty}^{\infty} v_r^2(t) dt} \right] \quad (4)$$

The path loss based on peak power loss PL_p in dB is defined as the ratio between the peak power of transmitted and received signal waveform in time domain. It can be written as

$$PL_p = 10 \log \left\{ \frac{\max[v_t^2(t)]}{\max[v_r^2(t)]} \right\} \quad (5)$$

Linear regression is used to model path loss. The average path loss \overline{PL} in dB expressed as

$$\overline{PL}(d)[dB] = \overline{PL}(d_0)[dB] + 10 \log \left(\frac{d}{d_0} \right) \quad (6)$$

The path loss UWB-BAN channel consists of path loss and small-scale multipath fading factor: [6, 7, 8, 9]

$$PL = \overline{PL} + X \quad (7)$$

III. EXPERIMENTAL STUDY RESULTS

A. Measurement Setup

The frequency transfer function of UWB human body channel was measured using VNA frequency ranged from 3 to 3 GHz with 801 frequency points. The meander line miniature antennas [10] were used as transmitted and received antennas. The 10 positions of human body and 12 samples were considered. Fig. 1 shows the position on human body. The transmitter antenna was fixed at height of 1 meter and varied receiver antenna follow as model,

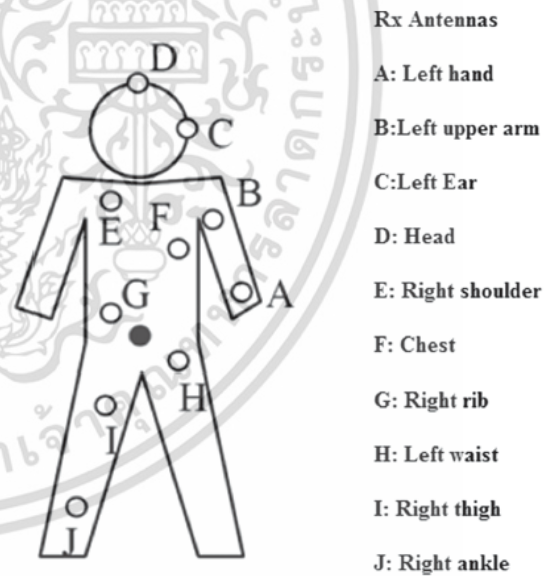


Fig. 1 The measurement positions on human body.

For signal parameters, the highest and lowest frequencies are set to $f_H = 4.8$ GHz and $f_L = 3.1$ GHz, respectively. Therefore, the bandwidth and center frequency are $f_b = 1.7$ GHz and $f_c = 3.95$ GHz, respectively. The spectral density and signal waveform are shown in Figs 3 and 4, respectively.

Table II. Measurement Parameters

Parameter	Value
Frequency range	3 GHz – 5 GHz
Number of frequency points	801
Tx antenna	1 m
Rx antenna	Vary on position
Rx antenna type	Meander line
Number of position	10 point

Table III BMI Value of Sample

Model	Gender	Height(CM)	Weight(kg)	BMI
1 thin	female	164	49	18.2
	female	168	43	15.2
	male	173	53	17.7
	male	179	58.5	18.3
2 normal	female	156	46	18.9
	female	167	58	20.8
	male	175	65	21.2
	male	170	68	22.8
3 fat	female	155	50	27.7
	female	149	58	24.1
	male	165	80	29.4
	male	170	80	27.7

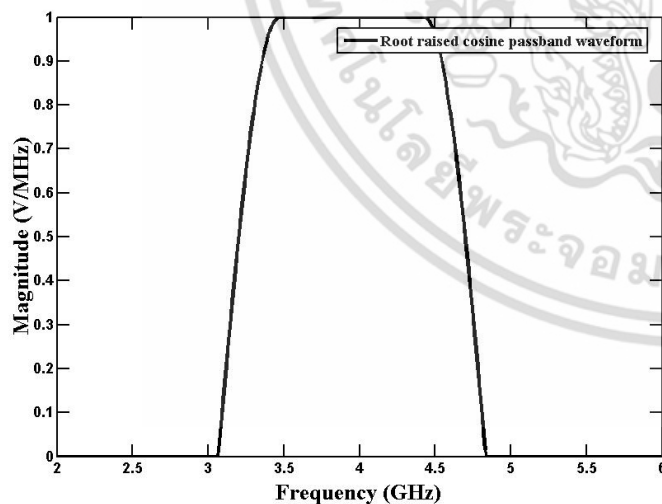


Fig. 2 The power spectral density of transmitted signal.

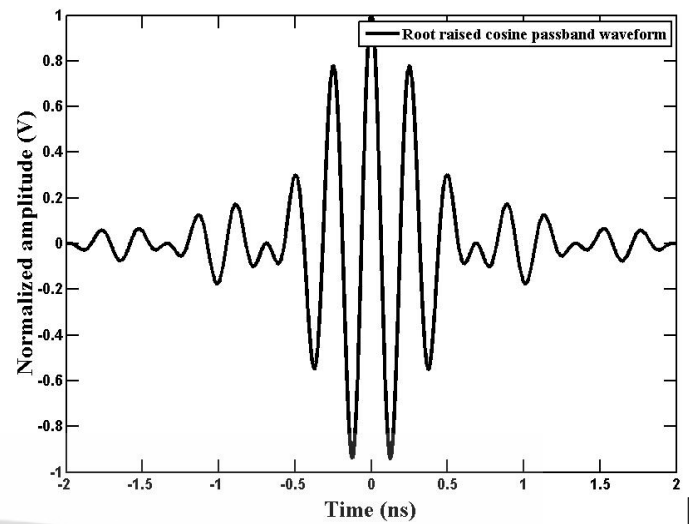


Fig. 3 The transmitted waveform of UWB-BAN system.

B. Results

From the result can be explained as two types. First, the different between peak power loss and average power loss is show distortion from transmission on human body. It can see that the transmission on normal body is better than thin and fat body. Second, when comparing the path loss exponent as table 4 and standard deviation as table 5. All of results are correspond with path loss model. Which normal body is best result and follow with fat body and thin body respectively. The results of this research will see that significant from body mass index, which affect to UWB-WBAN channel.

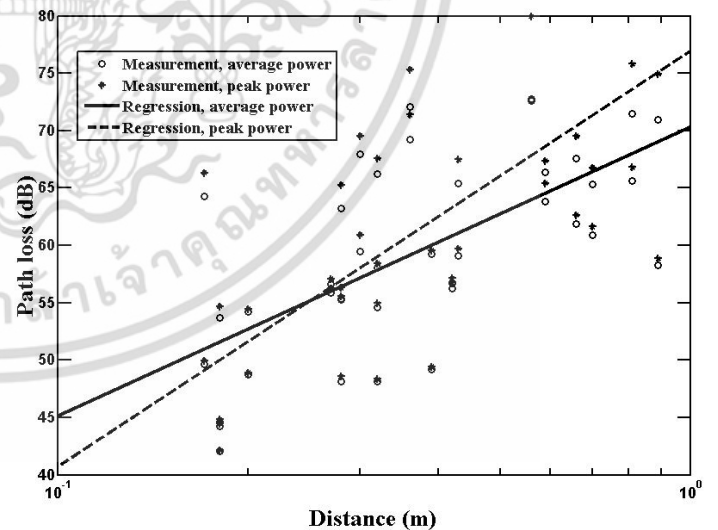


Fig. 4 Path loss model of thin model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

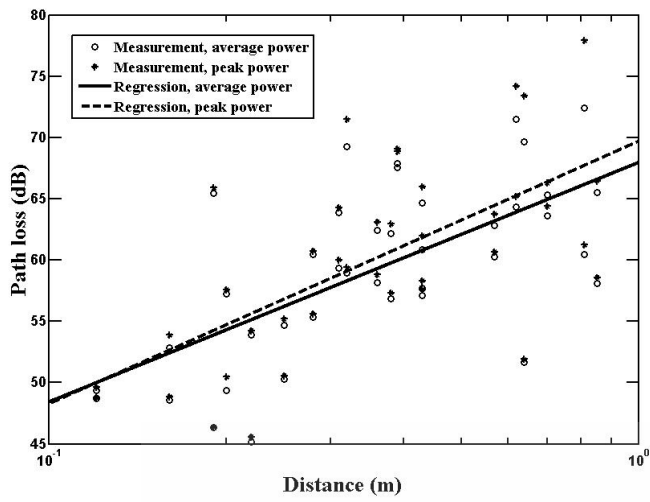


Fig. 5 Path loss model of thin model

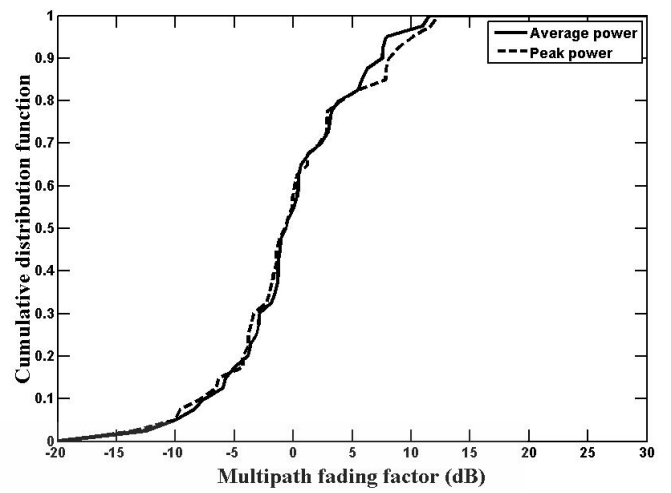


Fig. 8 CDF of normal model

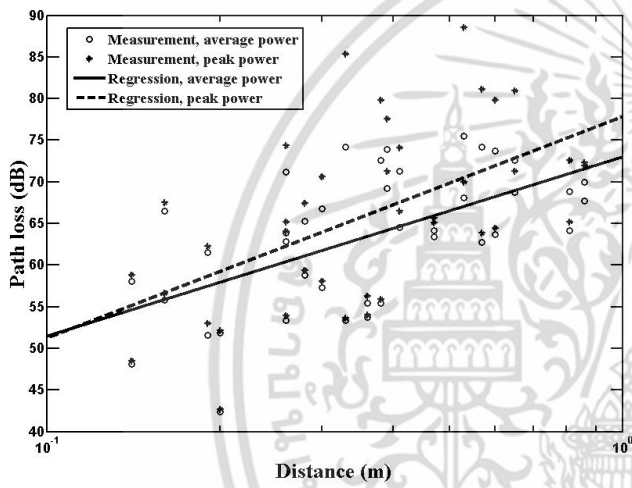


Fig. 6 Path loss model of normal model

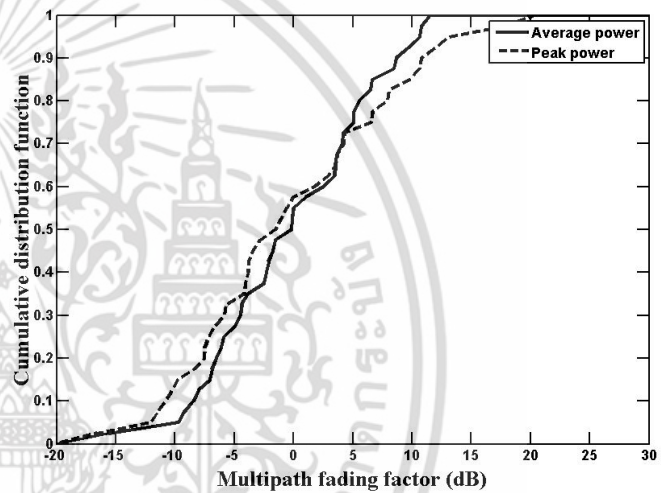


Fig. 9 CDF of fat model

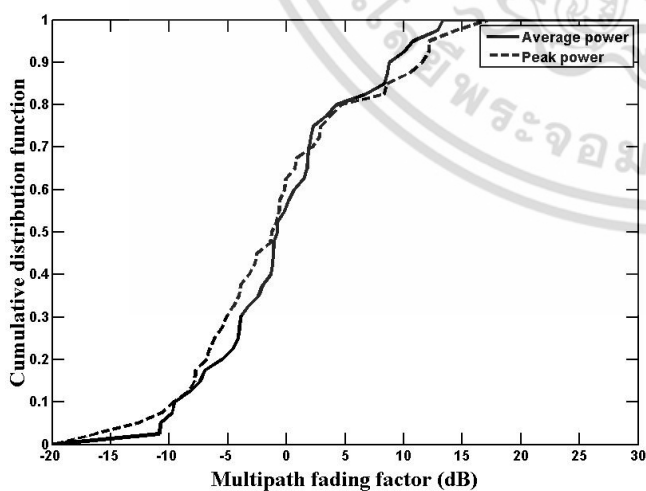


Fig. 7 CDF of thin model

Table IV path exponent of measurement model

Models	Average	Peak
1	2.5164	3.6176
2	1.9521	2.1405
3	2.1506	2.6574

Table V Standard deviation

Models	Average	Peak
1	8.3057	9.3063
2	7.6059	7.9762
3	8.4807	10.0814

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IV. CONCLUSION

This paper studies experimental evaluation of UWB human body transmission. The channels model classifier with Body Mass Index and base on measurement on human body. From the results, the peak power loss and average power loss are distortion form transmission. The thin model is worse normal and fat body. In addition, CDF of normal is better than other results. These results are useful to predict the performance of UWB-BAN system. For the future work, we will evaluate the performance of UWB transmission in human body.

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] Kazimierz Siwiak, Debra Mc. Keown, "Ultra-Wideband Radio Technology," John Wiley & Sons, Ltd, 2004.
- [4] IEEE. IEEE 802.15 TG-6 Body Area Networks (BAN), 2011 [visited May 2011].
- [5] K.Y/ Yazdandoost and K Sayrafian-Pour, "Channel Model for Wireless Body Area Network" p.91, 2009
- [6] Leon W.Couch 2, Digital and Analog Communication Systems, Sixth Edition, 2002
- [7] T.S Rappaport, Wireless Communication – Principles and Practices, Practice Hall, Second Edition, 2002.
- [8] A. Fort, J. Ryckaert, C. Desset, P. De Doncker, P. Wambacq and L. Van Biesen, "Ultrawideband channel model for communication around the human body," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 24, pp. 927-933, April 2006.
- [9] E. Reusens, W. Joseph, G. Vermeeren and L. Martens, "On-body measurements and characterization of wireless communication channel for arm and torso of human," International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Network, BSN07, pp. 26-28, March 2007.
- [10] 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

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายสนธิ เตยวฉิม
วัน เดือน ปีเกิด	7 กรกฎาคม 2525 ที่ อ.เหนือคลอง จ. กระบี่
ที่อยู่	83 หมู่ 4 หมู่บ้านทุ่งสาคร ต. ปากส้าย อ.เหนือคลอง จ.กระบี่ 81130
ประวัติการศึกษา	2552 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2549 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2546 สำเร็จการศึกษาประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาพระนครเหนือ
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ. 2549 – 2554	ตำแหน่ง เจ้าหน้าที่วิจัย ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2554 – ปัจจุบัน	ตำแหน่งวิศวกร ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้