

คุณลักษณะของการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่งด้วยสภาวะแวดล้อม
ภายในอาคารสำหรับโครงข่ายสำนักงาน

CHARACTERIZATION OF UWB-IR TRANSMISSION WITH IN AN INDOOR
ENVIRONMENT FOR OFFICE NETWORKS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2560
KMITL-2017-EN-M-010-082

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

คุณลักษณะของการส่งผ่านวิทยุอินฟราเรดแบบกว้างยิ่งด้วยสภาวะแวดล้อม
ภายในอาคารสำหรับโครงข่ายสำนักงาน

CHARACTERIZATION OF UWB-IR TRANSMISSION WITH IN AN INDOOR
ENVIRONMENT FOR OFFICE NETWORKS



T148661



เลขหมู่.....
ลงทะเบียน 148661
วันเดือนปี 14 พ.ย. 2560

b. 00265035
f.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2560

KMITL-2017-EN-M-010-082

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CHARACTERIZATION OF UWB-IR TRANSMISSION WITH IN AN INDOOR
ENVIRONMENT FOR OFFICE NETWORKS



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

2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่อาจารย์ผู้สอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
KMUTL-2017-EN-M-010-082



COPYRIGHT 2017

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ คุณลักษณะของการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่งด้วยสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร
สำหรับโครงข่ายสำนักงาน

Thesis Title Characterization of UWB-IR Transmission with in an Indoor Environment for
Office Networks

นักศึกษา นายณัฐพล สุภา
รหัสประจำตัว 57601452
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.สถาพร พรหมวงศ์
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2017-EN-M-010-082

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ศ.ดร.ประยุทธ์ อัครเอกฉนวน	
รศ.ดร.สุวิมล สิริชีวะภาค	
ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาศิพงษ์	
ผศ.ดร.พิชญ์ สุพรรณกุล	
ดร.สถาพร พรหมวงศ์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพุธที่ 19 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 เวลา 11.00-13.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 3

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ภายนอก
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารต้นฉบับในการนำไปใช้
วันที่ 19 กรกฎาคม พ.ศ. 2560

หัวข้อวิทยานิพนธ์	คุณลักษณะของการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่งด้วยสภาวะแวดล้อมภายในอาคารสำหรับโครงข่ายสำนักงาน
นักศึกษา	นายณัฐพล สุภา
รหัสประจำตัว	57601452
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร.สถาพร พรหมวงศ์

บทคัดย่อ

เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งถูกพัฒนาอย่างรวดเร็วในไม่กี่ปีที่ผ่านมา เนื่องจากการแข่งขันทางด้านอุตสาหกรรมโทรคมนาคมในปัจจุบัน ต้องการระบบการสื่อสารไร้สายที่มีอัตราการถ่ายโอนข้อมูลจำนวนมากได้อย่างรวดเร็ว มีสมรรถนะภาพที่สามารถตอบสนองการทำงานได้หลากหลายสื่อหลากหลายผู้ใช้งานในเวลาเดียวกัน สามารถพกพาใช้งานได้อย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน การสื่อสารแบบไร้สายด้วยเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง มีอัตราการส่งข้อมูลสูง มีความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานต่ำ มีช่วงความถี่สูง ความซับซ้อนของอุปกรณ์ต่ำส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตต่ำด้วย คุณสมบัติเหล่านี้ล้วนเป็นสิ่งที่ตอบสนองต่อความต้องการของผู้ผลิตและผู้บริโภค โดยสำหรับการประยุกต์ใช้งานระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งนั้น สามารถทำได้หลากหลาย เช่น ระบบการตรวจสอบระบุตำแหน่งและการค้นหา ระบบโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ และเครือข่ายส่วนบุคคล การประมวลผลภาพทางการแพทย์ และการตรวจสอบวัตถุที่อยู่ใต้ผิวดิน ฯลฯ ดังนั้นการขาดความเข้าใจถึงคุณลักษณะและพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณการสื่อสารในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งนั้น จะทำให้การออกแบบระบบวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่งขาดประสิทธิภาพและความเหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้งานจริงได้ในอนาคต

วิทยานิพนธ์นี้จึงมุ่งเน้นไปที่การวิเคราะห์คุณลักษณะช่องสัญญาณการสื่อสารและพฤติกรรม การส่งผ่านของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งเพื่อใช้ในการสื่อสารช่วงสั้นในสภาพแวดล้อมภายในอาคาร สำหรับระบบมัลติมีเดียไร้สาย โดยการทดลองใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ทั้งภาคเครื่องส่งและเครื่องรับ ทำการวัดฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณวิทยุโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ วัดที่ช่วงความถี่จาก 3 GHz ถึง 11 GHz และใช้คลื่นสัญญาณส่งแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยม วงจรกรองความถี่ที่ใช้เป็นวงจรกรองแบบเข้าคู่กัน ทำให้ได้สัญญาณที่ภาครับเหมาะสมที่สุด สำหรับการทดลองได้ทำการวัดภายในห้องเรียนขนาด 12.40 x 20.00 เมตร เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่แสดงให้เห็นถึงผลการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งอันเนื่องมาจากทิศทางของการวางสายอากาศ เช่น การสูญเสียเชิงวิถี ภาพตัดขวางการประวิงกำลังงาน รากกำลังสองเฉลี่ยการแผ่ประวิงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราผิดพลาดบิต สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และอัตราสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน โดยผลจากการทดลองและวิเคราะห์ในวิทยานิพนธ์นี้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการออกแบบระบบวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่งสำหรับการประยุกต์ใช้งานในระบบมัลติมีเดียและโครงข่ายแบบไร้สายระยะสั้น ในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารในอนาคตต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Characterization of UWB-IR Transmission with in an Indoor Environment for Office Networks
Student	Mr.Natthapon Supa
Student ID	57601452
Degree	Master of Engineering
Program	Telecommunications Engineering
Year	2017
Thesis Advisor	Dr.Sathaporn promwong

ABSTRACT

Ultra Wideband (UWB) technology is developed very fast in the past few years. Due to competitions of current telecommunication industry require high efficiency, very high speed transfer data rate, responsive user to multitasking system and long life battery. Ultra Wideband system is the technology for wireless communication providing high data rate, low power spectrum density, high bandwidth and low complexity device. The applications of Ultra Wideband are able to make variety such as localization and seeking system, wireless body area network, personal area network. Therefore, the communication systems have been increasing research and development projects.

This thesis focuses on characterization analysis of Ultra Wideband transmission for an indoor environment. Biconical antennas are used as transmitting and receiving antennas with vector network analyzer to measure the experimental results. Ultra Wideband system used frequency bandwidth from 3 GHz to 11 GHz to evaluate in term of frequency transfer function for Ultra Wideband system. Rectangular passband is used as the Ultra Wideband transmitted waveform. Friis's transmission formula is used to evaluate the receive signal waveform. This research aim to study the effect of Ultra Wideband system in an indoor environment by using path loss, power delay profile and SNR. To analyze the effect of communication channel at different distances and polarizations. The results from VNA are brought to analyze the parameters in UWB system. The results of this study are useful for the design of UWB-IR propagation channel in an indoor environment for short range wireless systems.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร.สถาพร พรหมวงศ์ ที่ได้ให้ความกรุณาดูแลเอาใจใส่ให้คำปรึกษาและแนะแนวทางในด้านต่าง ๆ รวมถึงช่วยตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องและข้อเสนอแนะในการทำวิจัยและวิทยานิพนธ์จนสำเร็จสมบูรณ์ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะจนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ โดยมี

1. ศ.ดร.ประยุทธ์ อัครเอกตมาสิน
2. รศ.ดร.สุวิมล สิทธิชีวภาค
3. ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาศิพงษ์
4. ผศ.ดร.พิชญ์ สุพรรณกุล
5. ดร.สถาพร พรหมวงศ์

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ตลอดระยะเวลาที่ได้ศึกษาของหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณภรรยาของข้าพเจ้า คุณหทัยรัตน์ รัตนพรชัย ที่เป็นเสมือนคู่คิดและเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแก่บิดา มารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ครูบาอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า และตลอดจนครอบครัวญาติสนิทมิตรสหายทุกท่านที่คอยให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา และสุดท้ายขอขอบคุณทุกท่านที่มีได้เอ่ยนามถึง ที่แสดงความหวังดีและให้กำลังใจเสมอมา

ณัฐพล สุภา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	III
กิตติกรรมประกาศ	IV
สารบัญ	V
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูป	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา	3
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย	4
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา	4
บทที่ 2 ระบบการสื่อสารแบบกว้างยิ่ง	6
2.1 กล่าวนำ	6
2.2 ประวัติและความเป็นมาของระบบการสื่อสารแบบกว้างยิ่ง	7
2.3 นิยามของระบบการสื่อสารแบบกว้างยิ่ง	8
2.4 กฎข้อกำหนดของระบบการสื่อสารแบบกว้างยิ่ง	10
2.4.1 ข้อกำหนดระบบการสื่อสารแบบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา	10
2.4.2 กฎข้อกำหนดของระบบสื่อสารแบบกว้างยิ่งในยุโรป	12
2.5 มาตรฐานระบบแบบกว้างยิ่งโดยสถาบันวิศวกรรมไฟฟ้าและวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ นานาชาติ	12
2.6 คุณลักษณะและจุดเด่นของระบบแบบกว้างยิ่ง	14
2.6.1 เป็นระบบที่มีความซับซ้อนและต้นทุนต่ำ	14
2.6.2 มีระดับของสัญญาณใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวน	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6.3 มีความต้านทานต่อคลื่นหลายวิถี และการรบกวนของสัญญาณใกล้เคียง ในระบบการมอดูเลตทางเวลา	15
2.6.4 มีความละเอียดสูงในโดเมนเวลาสำหรับการกำหนดตำแหน่งและ การประยุกต์ใช้ในระบบติดตาม	15
2.7 รูปแบบของสัญญาณในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง	16
2.7.1 คำจำกัดความของสัญญาณแถบกว้างยิ่ง	16
2.7.2 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียน	16
2.7.3 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์โมโนไซเคิล	17
2.7.4 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์ดับเลต	18
2.8 สรุป	19
บทที่ 3 ทฤษฎีและการวิเคราะห์การแพร่กระจายช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งในสภาวะแวดล้อม ภายในอาคาร	20
3.1 กล่าวนำ	20
3.2 แบบจำลองช่องสัญญาณหลายวิถีในระบบแถบกว้างยิ่ง	20
3.3 แบบจำลองการสูญเสียเชิงวิถี	21
3.3.1 ที่มาของแบบจำลองการสูญเสียเชิงวิถี	21
3.3.2 การสูญเสียในอวกาศว่าง (Free space path loss)	22
3.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์	23
3.5 ทฤษฎีการประยุกต์สูตรการส่งผ่านสัญญาณของฟรีสสำหรับระบบการส่งผ่าน	23
3.6 เครื่องรับสหสัมพันธ์ (CORRELATION RECEIVER)	26
3.7 ทฤษฎีการสูญเสียเชิงวิถี (PATH LOSS)	26
3.8 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน (POWER DELAY PROFILE; PDP)	27
3.9 อัตราความผิดพลาดบิต (BIT ERROR RATE; BER)	28
3.10 สรุป	29
บทที่ 4 การทดลองและแบบจำลองการวัดช่องสัญญาณสำหรับการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์ แถบกว้างยิ่ง	30
4.1 กล่าวนำ	30
4.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเวกเตอร์	31
4.2.2 สายอากาศแบบกรวยคู่	32
4.3 การจัดการเกี่ยวกับการวัด	34
4.4 พารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์	34
4.5 แบบจำลองรูปคลื่นสัญญาณการส่งผ่านแถบกว้างยิ่ง	35
4.6 แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่ง	37
4.7 สรุป	39
บทที่ 5 ผลการทดลองวิจัยและการอภิปรายผล	40
5.1 กล่าวนำ	40
5.2 ผลการทดสอบของทิศทางการโพลาริซ	40
5.2.1 ภาพตัดขวางการประวิงกำลังงาน	40
5.2.2 รากกำลังสองเฉลี่ยการแผ่ประวิง	44
5.2.3 การสูญเสียเชิงวิถี	47
5.2.4 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	53
5.2.5 อัตราการผิดพลาดบิต	57
5.3 การเปรียบเทียบความแตกต่างของการจัดวางสายอากาศทั้ง 4 รูปแบบ	60
5.3.1 การเปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss comparison)	60
5.3.2 เปรียบเทียบอัตราผิดพลาดบิตของการจัดวางทิศทางสายอากาศทั้ง 4 รูปแบบ	61
บทที่ 6 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	67
6.1 กล่าวนำ	67
6.2 สรุปผลการทดลอง	67
6.3 ปัญหาและข้อเสนอแนะ	68
เอกสารอ้างอิง	69
ภาคผนวก ก.	71
บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา	71
ประวัติผู้เขียน	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังที่กำหนดโดย FCC สำหรับการสื่อสารภายในอาคารและภายนอกอาคาร [7].....	11
ตารางที่ 2.2 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานที่กำหนดโดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสารภายในและภายนอกอาคาร [8].....	12
ตารางที่ 4.1 รูปแบบการกำหนดทิศทางการวางสายอากาศสำหรับการวัด.....	30
ตารางที่ 4.2 ค่าพารามิเตอร์สำหรับการทดลอง.....	35



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1	เปรียบเทียบความกว้างแถบความถี่ของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งยวดกับเทคโนโลยีไร้สายอื่น [1]	1
รูปที่ 2.1	การสื่อสารระบบมัลติมีเดียภายในสำนักงาน [5]	6
รูปที่ 2.2	ประวัติและพัฒนาการของวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่งยวด	8
รูปที่ 2.3	ตัวอย่างของสัญญาณพัลส์ในโดเมนเวลาและความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง ในโดเมนความถี่ของสัญญาณแถบกว้างยิ่งยวด [8]	9
รูปที่ 2.4	สเปกตรัมสำหรับข้อจำกัดภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย FCC [7]	11
รูปที่ 2.5	มาตรฐาน IEEE 802.15 สำหรับ WPAN [8]	13
รูปที่ 2.6	รูปสัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ [9]	17
รูปที่ 2.7	รูปสัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนโมโนไซเคิลทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ [9]	17
รูปที่ 2.8	รูปสัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนดับเล็ททั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ [9]	18
รูปที่ 2.9	ตัวอย่างการกำเนิดสัญญาณพัลส์และการรับส่งพัลส์สำหรับเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งยวด [9]	19
รูปที่ 3.1	ตัวอย่างการส่งผ่านสัญญาณพัลส์ในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารที่สะท้อนกับวัตถุ [12]	21
รูปที่ 3.2	แผนภาพบล็อกที่ใช้ในการวิเคราะห์ระบบวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่งยวดสำหรับการศึกษาวิจัย	24
รูปที่ 3.3	ตัวอย่างภาพหน้าต่างการประวิงกำลังงาน [16]	28
รูปที่ 4.1	เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์	31
รูปที่ 4.2	โครงสร้างและขนาดของสายอากาศแบบกรวยคู่	33
รูปที่ 4.3	สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ $ S_{11} $ คุณสมบัติของสายอากาศแบบกรวยคู่	33
รูปที่ 4.4	แมกนิจูดและเฟสการถ่ายโอนฟังก์ชันของสายอากาศ	34
รูปที่ 4.5	แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณในมุมมองด้านบน	38
รูปที่ 4.6	การอยู่ในแนวอุปกรณ์การทดลองสำหรับการวัด	39
รูปที่ 5.1	ภาพตัดขวางการประวิงกำลังงาน ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่งยวด กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวตั้ง และสายอากาศรับอยู่ในแนวตั้ง	40
รูปที่ 5.2	ภาพตัดขวางการประวิงกำลังงาน ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่งยวด กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวตั้ง และสายอากาศรับอยู่ในแนวนอน	41
รูปที่ 5.3	ภาพตัดขวางการประวิงกำลังงาน ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่งยวด กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวนอน และสายอากาศรับอยู่ในแนวนอน	41
รูปที่ 5.4	ภาพตัดขวางการประวิงกำลังงาน ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่งยวด กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวนอน และสายอากาศรับอยู่ในแนวตั้ง	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5.5 รากกำลังสองเฉลี่ยการแผ่ประวิง ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวตั้ง และสายอากาศรับอยู่ในแนวตั้ง.....	44
รูปที่ 5.6 รากกำลังสองเฉลี่ยการแผ่ประวิง ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวตั้ง และสายอากาศรับอยู่ในแนวนอน.....	45
รูปที่ 5.7 รากกำลังสองเฉลี่ยการแผ่ประวิง ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวนอน และสายอากาศรับอยู่ในแนวนอน	45
รูปที่ 5.8 รากกำลังสองเฉลี่ยการแผ่ประวิง ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวนอน และสายอากาศรับอยู่ในแนวตั้ง.....	46
รูปที่ 5.9 การสูญเสียเชิงวิถี ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวตั้ง และสายอากาศรับอยู่ในแนวตั้ง.....	47
รูปที่ 5.10 การสูญเสียเชิงวิถี ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวตั้ง และสายอากาศรับอยู่ในแนวนอน.....	48
รูปที่ 5.11 การสูญเสียเชิงวิถี ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวนอน และสายอากาศรับอยู่ในแนวนอน	48
รูปที่ 5.12 การสูญเสียเชิงวิถี ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวนอน และสายอากาศรับอยู่ในแนวตั้ง.....	49
รูปที่ 5.13 ความหนาแน่นกำลังของการสูญเสียเชิงวิถี ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์ แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวตั้ง และสายอากาศรับอยู่ในแนวตั้ง	50
รูปที่ 5.14 ความหนาแน่นกำลังของการสูญเสียเชิงวิถีของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์ แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวตั้ง และสายอากาศรับอยู่ในแนวนอน	51
รูปที่ 5.15 ความหนาแน่นกำลังของการสูญเสียเชิงวิถี ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์ แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวนอน และสายอากาศรับอยู่ในแนวนอน.....	51
รูปที่ 5.16 ความหนาแน่นกำลังของการสูญเสียเชิงวิถี ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์ แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวนอน และสายอากาศรับอยู่ในแนวตั้ง	52
รูปที่ 5.17 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวตั้ง และสายอากาศรับอยู่ในแนวตั้ง.....	54
รูปที่ 5.18 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวตั้ง และสายอากาศรับอยู่ในแนวนอน.....	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.19	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวนอน และสายอากาศรับอยู่ในแนวนอน.....	55
รูปที่ 5.20	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวนอน และสายอากาศรับอยู่ในแนวนอน.....	55
รูปที่ 5.21	อัตราผิดพลาดบิต ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศ ส่งอยู่ในแนวตั้ง และสายอากาศรับอยู่ในแนวตั้ง.....	57
รูปที่ 5.22	อัตราผิดพลาดบิต ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศ ส่งอยู่ในแนวตั้ง และสายอากาศรับอยู่ในแนวนอน.....	58
รูปที่ 5.23	อัตราผิดพลาดบิต ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศ ส่งอยู่ในแนวนอน และสายอากาศรับอยู่ในแนวนอน.....	58
รูปที่ 5.24	อัตราผิดพลาดบิต ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศ ส่งอยู่ในแนวนอน และสายอากาศรับอยู่ในแนวตั้ง.....	59
รูปที่ 5.25	เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีระหว่างทิศทางการจัดวางสายอากาศทั้ง 4 แบบ.....	61
รูปที่ 5.26	เปรียบเทียบอัตราผิดพลาดบิตทิศทางโพลาริซตั้ง 4 แบบ ที่ตำแหน่ง (1,1).....	62
รูปที่ 5.27	เปรียบเทียบอัตราผิดพลาดบิตทิศทางโพลาริซตั้ง 4 แบบ ที่ตำแหน่ง (1,6).....	62
รูปที่ 5.28	เปรียบเทียบอัตราผิดพลาดบิตทิศทางโพลาริซตั้ง 4 แบบ ที่ตำแหน่ง (1,11).....	63
รูปที่ 5.29	เปรียบเทียบอัตราผิดพลาดบิตทิศทางโพลาริซตั้ง 4 แบบ ที่ตำแหน่ง (6,1).....	63
รูปที่ 5.30	เปรียบเทียบอัตราผิดพลาดบิตทิศทางโพลาริซตั้ง 4 แบบ ที่ตำแหน่ง (6,6).....	64
รูปที่ 5.31	เปรียบเทียบอัตราผิดพลาดบิตทิศทางโพลาริซตั้ง 4 แบบ ที่ตำแหน่ง (6,11).....	64
รูปที่ 5.32	เปรียบเทียบอัตราผิดพลาดบิตทิศทางโพลาริซตั้ง 4 แบบ ที่ตำแหน่ง (11,1).....	65
รูปที่ 5.33	เปรียบเทียบอัตราผิดพลาดบิตทิศทางโพลาริซตั้ง 4 แบบ ที่ตำแหน่ง (11,6).....	65
รูปที่ 5.34	เปรียบเทียบอัตราผิดพลาดบิตทิศทางโพลาริซตั้ง 4 แบบ ที่ตำแหน่ง (11,11).....	66

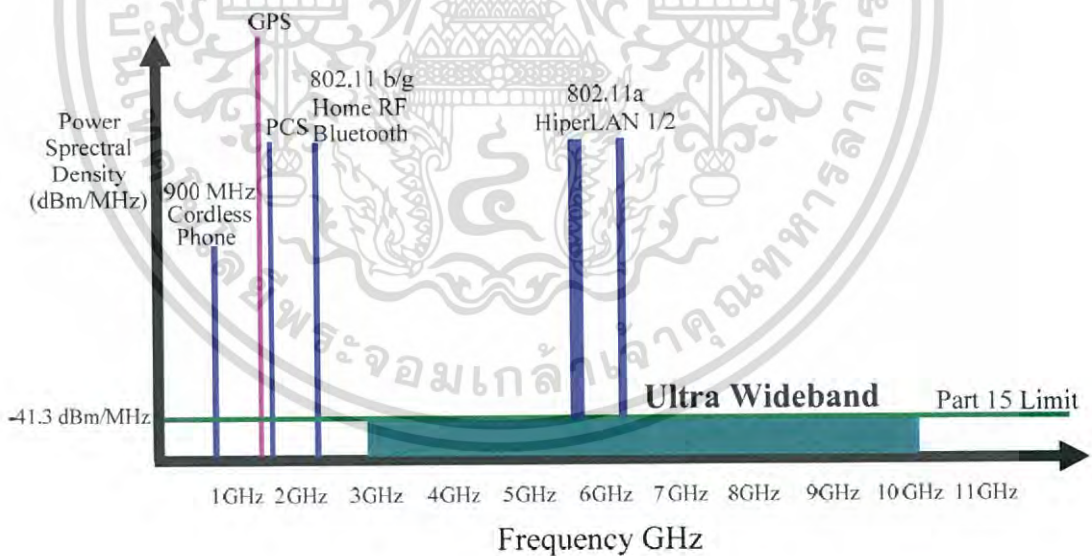
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง (Ultra Wideband; UWB) กลายเป็นหัวข้อที่ได้รับความสนใจและได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยได้มีการนำเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งมาพัฒนาและประยุกต์ใช้งานในเชิงพาณิชย์มากขึ้น ด้วยคุณสมบัติที่สามารถส่งผ่านข้อมูลไร้สายระยะสั้นด้วยความเร็วสูง มีต้นทุนการผลิตและมีคุณสมบัติการใช้พลังงานต่ำ จากความต้องการอัตราเร็วในการส่งผ่าน และความปลอดภัยของระบบที่สูงยิ่งขึ้นของผู้ใช้งาน เป็นโจทย์และปัจจัยสำคัญต่อการพัฒนาระบบการสื่อสารไร้สาย ดังนั้นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายใหม่ต้องมีตำแหน่งสเปกตรัมความถี่วิทยุซึ่งมีความหนาแน่นมากเพื่อรองรับประสิทธิภาพนั้น เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง คือหนึ่งในเทคโนโลยีที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการเหล่านี้ เนื่องจากมีพื้นฐานของเทคโนโลยีในการกระจายสัญญาณตลอดทั้งความกว้างของแถบความถี่ ด้วยเหตุนี้จึงมีข้อได้เปรียบที่สามารถเปรียบเทียบกับระบบการสื่อสารความถี่วิทยุอื่น ๆ ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 เปรียบเทียบความกว้างแถบความถี่ของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งกับเทคโนโลยีไร้สายอื่น [1]

ระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย และมีการนำเทคโนโลยีดังกล่าวมาประยุกต์ใช้งานอย่างมากมาย รวมถึงเป็นสิ่งทำหายที่จะนำมาใช้ในอนาคต อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งไม่ใช่เทคโนโลยีใหม่แต่อย่างใด มีการใช้งานครั้งแรกในศตวรรษที่ยี่สิบโดยการส่งลำดับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งวนไวสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รหส์มอสกับอุปกรณ์วิทยุสปาร์คแก๊ป (Spark gap) ซึ่งได้กล่าวไว้ในเอกสารอ้างอิง [2-3] ต่อมาในปลายศตวรรษที่ยี่สิบระบบเรดาร์ แลกกว้างยิ่ง ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในกองทัพ เพื่อทำงานภายใต้โปรแกรมที่เป็นความลับของทางราชการ เทคโนโลยีแลกเปลี่ยนยิ่งมีการประยุกต์ใช้งานเชิงพาณิชย์ในปี ค.ศ. 2002 นับเป็นก้าวสำคัญในประวัติศาสตร์ของการสื่อสาร ขณะที่ในสหรัฐอเมริกาคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (The Federal Communications Commission; FCC) อนุญาตให้มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีแลกเปลี่ยนยิ่งในเชิงพาณิชย์ด้วยการจำกัดขอบเขตของกำลัง และสามารถใช้งานโดยปราศจากไลเซนส์บนหลักเกณฑ์ที่ไม่รบกวนกับระบบการสื่อสารอื่น ๆ และที่สถาบันมาตรฐานการสื่อสารโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป (The European Telecommunications Standards Institute; ETSI) ก็ได้ออกข้อบังคับมาตรฐานสำหรับเทคโนโลยีแลกเปลี่ยนยิ่ง ภายใต้ข้อบังคับเครื่องมือวิทยุ (Radio Equipment Directive; RED) และมีคำสั่งไปยังคณะกรรมการบริหารการประชุมร่วมไประพันธ์และโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป (The European Conference of Postal and Telecommunications Administrations; CEPT) เพื่อจัดสรรคลื่นความถี่ อย่างไรก็ตามสำหรับการกำหนดกฎเกณฑ์ต่าง ๆ ยังคงมีความท้าทายเป็นอย่างมากจากปัญหาการหลีกเลี่ยงการแทรกสอดกับระบบอื่น ๆ และยังไม่มีความชัดเจนในระดับสากลบนมาตรฐานทางเทคนิคและการนำไปปฏิบัติ

ระบบการสื่อสารแลกเปลี่ยนยิ่งเหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้ในการสื่อสารช่วงสั้น เช่น โครงข่ายไร้สายส่วนบุคคล (Wireless Personal Area Networks; WPANs) และการเข้าถึงอินเทอร์เน็ตแลกเปลี่ยนความเร็วสูง ยิ่งไปกว่านั้นยังมีการประยุกต์เทคโนโลยีแลกเปลี่ยนยิ่งมาใช้ในการระบุตำแหน่ง (Localization) ได้อย่างแม่นยำ การใช้เรดาร์ (Radar) ผ่านทะลุพื้นหรือกำแพงเพื่อแสดงผลวัตถุความละเอียดสูง และระบบนำทางที่มีความแม่นยำสูงหรือระบบติดตามสินทรัพย์โดยการระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ (Radio Frequency Identification; RFID) สำหรับระบบคลังสินค้า ซึ่งได้กล่าวไว้ใน [4] ถึงแม้ว่ากว่า 80 เปอร์เซ็นต์ของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีแลกเปลี่ยนยิ่งทางเชิงพาณิชย์มักถูกใช้ในงานสำหรับการสื่อสารภายในอาคารเนื่องจากการอนุญาตให้ใช้เพียงกำลังส่งต่ำ แต่ก็อาจมีการใช้เทคโนโลยีแลกเปลี่ยนยิ่งสำหรับทางกายภาพของระบบเซนเซอร์ (Sensor) หรือระบบเครือข่ายสื่อสารภายนอกอื่น ๆ อยู่บ้าง และด้วยคุณสมบัติของเทคโนโลยีแลกเปลี่ยนยิ่งที่ตอบสนองความต้องการของระบบไร้สายดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น จึงทำให้เกิดงานวิจัยและการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง แต่งานวิจัยส่วนใหญ่มักพิจารณาที่องค์ประกอบของระบบเครื่องรับส่ง และระบบสายอากาศ โดยไม่ได้เน้นการวิเคราะห์คุณลักษณะและการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณอันเนื่องมาจากทิศทางของสายอากาศ

ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้เห็นความสำคัญของการศึกษาผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณและการส่งผ่านแลกเปลี่ยนยิ่งสำหรับช่วงสั้นในสภาพแวดล้อมภายในอาคาร ว่ามีผลต่อการสื่อสารแลกเปลี่ยนยิ่งอย่างไรบ้าง โดยจะศึกษาผลกระทบที่มีต่อการส่งผ่านของช่องสัญญาณในช่วงความถี่ระหว่าง 3 GHz ถึง 11 GHz จากการใช้การประยุกต์สูตรการส่งผ่านของฟรีส การพิจารณา

เอกสารที่กรมตำรวจ กักตุนเสียเชิงวิถี ภาพตัดขวางการประวิงกำลังงาน หากกำลังสองเฉลี่ยการแผ่ประวิง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราผิดพลาดบิต สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และอัตราสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และศึกษาคุณลักษณะของช่องสัญญาณการส่งผ่านในระบบวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่งต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาเทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่งสำหรับการส่งผ่านภายในอาคารและโครงข่ายสำนักงาน โดยนำเสนอกระบวนการและวิธีการวิเคราะห์การส่งผ่านของช่องสัญญาณวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง จากการประยุกต์สูตรการส่งผ่านของฟรีส และนำเสนอเครื่องรับสหสัมพันธ์ที่ด้านรับ

นำเสนอแบบแผนการวัดช่องสัญญาณวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่งในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเวกเตอร์ และสายอากาศแบบกรวยคู่ ในสภาวะแวดล้อมจริงภายในอาคาร โดยนำผลที่ได้จากการวัดมาวิเคราะห์ในรูปแบบพารามิเตอร์ การสูญเสียเชิงวิถี ภาพตัดขวางการประวิงกำลังงาน รากกำลังสองเฉลี่ยการแผ่ประวิง อัตราผิดพลาดบิต สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และอัตราสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน เพื่อประเมินประสิทธิภาพของช่องสัญญาณในระบบการสื่อสารวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่งสำหรับโครงข่ายสำนักงาน และนำไปสู่การใช้งานเทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่งอย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

เนื่องจากการสื่อสารไร้สายระยะสั้น ระยะทางของสายอากาศส่งและสายอากาศรับเป็นตัวแปรสำคัญในระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง รวมทั้งขนาดและทิศทางของสายอากาศก็เป็นอีกตัวแปรสำคัญเช่นกัน การศึกษาวิจัยนี้จึงทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่ง โดยมีสมมุติฐานว่าในการใช้งานจริงของโครงข่ายการไร้สายสื่อสารภายในอาคาร ในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร ระยะห่างของสายอากาศส่งและสายอากาศรับ รวมทั้งทิศทางการจัดวางสายอากาศ จะมีผลต่อประสิทธิภาพของการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง โดยคาดว่าหากทำการจัดวางตำแหน่งสายอากาศกรวยคู่ให้มีระยะห่างเดียวกันจะยิ่งทำให้ช่องสัญญาณการสื่อสารแถบกว้างยิ่งมีประสิทธิภาพมากขึ้น ในขณะที่ระยะห่างระหว่างระหว่างของสายอากาศส่งและสายอากาศรับจะมีผลต่อคุณภาพการสื่อสารแถบกว้างยิ่งเช่นกัน

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทำการวิเคราะห์และประเมินผลประสิทธิภาพของช่องสัญญาณการสื่อสารแถบกว้างยิ่งในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร โดยทำการทดลองที่ช่วงความถี่ระหว่าง 3 GHz ถึง 11 GHz สำหรับการทดลองวัดช่องสัญญาณ ได้ทำการวัดโดยการจัดวางสายอากาศส่งและสายอากาศรับให้มีระยะห่างแตกต่างกัน รวมทั้งปรับทิศทางโพลาริซสายอากาศในลักษณะและทิศทางต่าง ๆ

โดยใช้สายอากาศกรวยคู่ทั้งภาคส่งและภาครับ จากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์และประเมินผลรูปแบบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พารามิเตอร์ การสูญเสียเชิงวิถี ภาพตัดขวางการประวิงกำลังงาน รากกำลังสองเฉลี่ยการแผ่ประวิง อัตราผิดพลาดบิต สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และอัตราสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน สำหรับการวิเคราะห์ระบบได้ใช้บล็อกไดอะแกรมในการอธิบายซึ่งจะประกอบไปด้วยภาคส่งและภาครับ โดยได้พิจารณาใช้เครื่องรับสหสัมพันธ์ทางด้านรับ ซึ่งได้อธิบายไว้ในบทที่ 3

1.5 ขอบเขตการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งเน้นในการวิเคราะห์ประสิทธิผลของการแพร่กระจายของช่องสัญญาณวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง โดยทำการทดลองจริงในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร ซึ่งใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเวกเตอร์ในการวัด และใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ทั้งด้านส่งและด้านรับ โดยการจัดวางทิศทางของสายอากาศส่งและสายอากาศรับออกเป็น 4 รูปแบบ ซึ่งได้อธิบายรูปแบบการติดตั้งไว้ในบทที่ 4 เพื่อทำการวัดการคุณลักษณะช่องสัญญาณของการจัดวางแต่ละรูปแบบ และนำผลที่ได้จากการวัดมาพิจารณาพารามิเตอร์ การสูญเสียเชิงวิถี ภาพตัดขวางการประวิงกำลังงาน รากกำลังสองเฉลี่ยการแผ่ประวิง อัตราผิดพลาดบิต สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และอัตราสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

การวิเคราะห์คุณลักษณะการส่งผ่านของช่องสัญญาณเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง และทดสอบคุณภาพของช่องสัญญาณการส่งผ่านในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารสำหรับระบบมัลติมีเดีย มีขั้นตอนดำเนินงาน ดังนี้

1.6.1 แนวทางการดำเนินงาน

- 1) ศึกษาสำรวจวรรณกรรม บทความวิชาการที่เกี่ยวข้องกับการส่งผ่านสำหรับโครงข่ายวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง รวมทั้งงานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์
- 2) วิเคราะห์และออกแบบจำลองการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง และทำการทดลองปรับระบบสายอากาศส่งและสายอากาศรับโดยใช้สายอากาศแบบกรวยคู่
- 3) ประเมินผลการวัดและเปรียบเทียบพารามิเตอร์ จากการจัดตำแหน่งและทิศทางของสายอากาศส่งและสายอากาศรับ โดยพิจารณาการสูญเสียเชิงวิถี ภาพตัดขวางการประวิงกำลังงาน รากกำลังสองเฉลี่ยการแผ่ประวิง อัตราผิดพลาดบิต สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และอัตราสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนทดสอบการส่งผ่าน

1.6.2 สถานที่ปฏิบัติการทดลองวิจัย

อาคารเรียนรวม ห้อง E12-1101 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เลขที่ 1 ซอยเฉลิมกรุง 1 ถนนเฉลิมกรุง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

- 1) คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal computer) และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Matlab เพื่อใช้ในการประมวลผลและบันทึก
- 2) เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ (Vector network analyzer; VNA) เพื่อใช้ในการวัดและประเมินผล
- 3) อุปกรณ์การปรับเทียบ (Calibration Kits)
- 4) สายอากาศแบบกรวยคู่ (Biconical antenna)
- 5) เสาตั้งสายอากาศส่งและสายอากาศรับ
- 6) สภาวะแวดล้อมจริงสำหรับการทดลอง

1.6.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

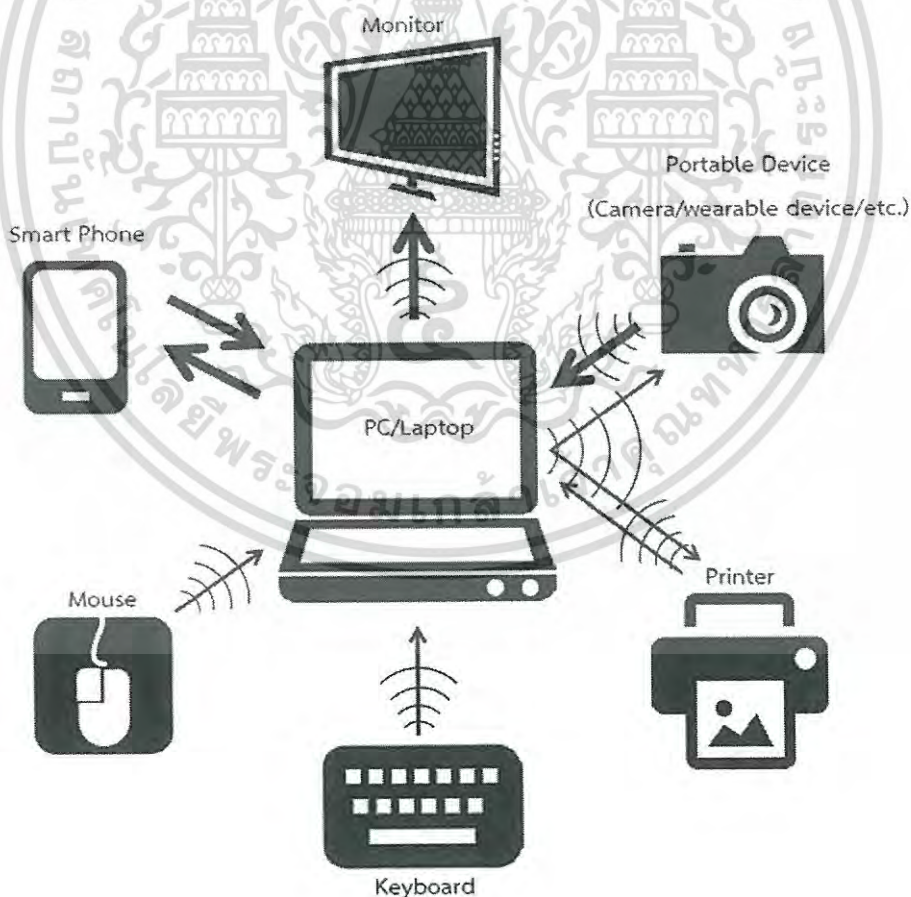
ข้อมูลชุดความรู้เกี่ยวกับการออกแบบแบบจำลองและผลการทดลองที่ได้จากการทดลองนำมาวิเคราะห์คุณลักษณะของช่องสัญญาณวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง สำหรับการประยุกต์ใช้งานในโครงข่ายสำนักงาน โดยการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างทฤษฎีและผลการทดลอง เช่น พารามิเตอร์ การสูญเสียเชิงวิถี ภาพตัดขวางการประวิงกำลังงาน รากกำลังสองเฉลี่ยการแผ่ประวิง อัตราผิดพลาดบิต สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และอัตราสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน เพื่อประเมินช่องสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่งภายในอาคาร

บทที่ 2

ระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง

2.1 กล่าวนำ

ปัจจุบันพฤติกรรมการใช้งานระบบคอมพิวเตอร์ (Computer) อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronics) และอุปกรณ์สื่อสารของผู้บริโภคนิยมเชื่อมต่อแลกเปลี่ยนข้อมูลกับอุปกรณ์ภายนอกหลากหลายมากขึ้น เช่น คอมพิวเตอร์เชื่อมต่อกับสมาร์ทโฟน (Smartphone) คอมพิวเตอร์เชื่อมต่อกับสมาร์ททีวี (Smart TV) อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบสวมใส่ (Wearable devices) เชื่อมต่อกับสมาร์ทโฟน ดังแสดงในรูปที่ 2.1 และในปัจจุบันนิยมนำสมาร์ทโฟนเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบไร้สายแทบจะทั้งสิ้น [5] โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบสวมใส่ที่มีระบบเซนเซอร์ (Sensor) สำหรับตรวจวัดค่าต่าง ๆ มากมาย เช่น อัตราการเต้นหัวใจ ระบบติดตามกิจกรรมการออกกำลังกายต่าง ๆ เป็นต้น



รูปที่ 2.1 การสื่อสารระบบมัลติมีเดียภายในสำนักงาน [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะที่การเชื่อมต่อในบางครั้งอาจติดต่อกับอุปกรณ์เพื่อรับส่งข้อมูลที่มากกว่าหนึ่งชนิด โดยการเชื่อมต่อแลกเปลี่ยนข้อมูลมักใช้สายสัญญาณเพื่อควบคุม บันทึกลง และเล่น

ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยังสามารถจัดปัญหาความยุ่งยากจากการใช้สายสัญญาณ และทำให้ความจำเป็นในการใช้สายสัญญาณลดลงไป พร้อมทั้งตอบสนองการใช้งานแบบไร้สาย ระยะใกล้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยแบนด์วิธ (Bandwidth) ของแถบสเปกตรัม (Spectrum) ที่กว้างมาก (7.5 GHz) ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งเป็นที่น่าสนใจสำหรับการนำมาประยุกต์ใช้งานในเชิงพาณิชย์ ส่งผลให้ FCC ดำเนินการออกข้อกำหนดบังคับใช้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งสำหรับการใช้งานในเชิงพาณิชย์ขึ้น และทำการจัดสรรคลื่นความถี่ แต่อนุญาตให้ใช้เพียงกำลังส่งต่ำ เพื่อจำกัดการแทรกสอดให้เกิดเพียงเล็กน้อยด้วยอัตราการส่งข้อมูลที่สูงมาก ณ ระยะทาง 10 เมตร สามารถส่งอัตราข้อมูลได้ประมาณ 110 Mbps และสูงสุดถึง 480 Mbps ที่ระยะ 3 เมตร สำหรับการประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งนั้นสามารถทำได้หลากหลาย เช่น การใช้ในระบบเรดาร์ (Radar) ทำการตรวจสอบและค้นหายานพาหนะ การตรวจสอบค้นหาวัตถุระเบิดในพื้นที่ ระบบแสดงภาพวัตถุที่อยู่หลังผนัง การใช้งานด้านการประมวลผลภาพในทางการแพทย์เพื่อแสดงภาพอวัยวะภายในร่างกายสำหรับวิเคราะห์เพื่อการรักษา รวมถึงระบบเซนเซอร์ไร้สายต่าง ๆ ที่ต้องการความแม่นยำและจำเป็นต้องใช้การส่งผ่านความเร็วสูง เป็นต้น อย่างไรก็ตามสำหรับการนำเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งไปประยุกต์ใช้งานที่มีการส่งผ่านช่องสัญญาณ จำเป็นต้องมีการศึกษาลักษณะและพฤติกรรมของการแพร่กระจายคลื่นเนื่องจากการใช้งานในแต่ละด้านนั้นมีองค์ประกอบของสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันไป

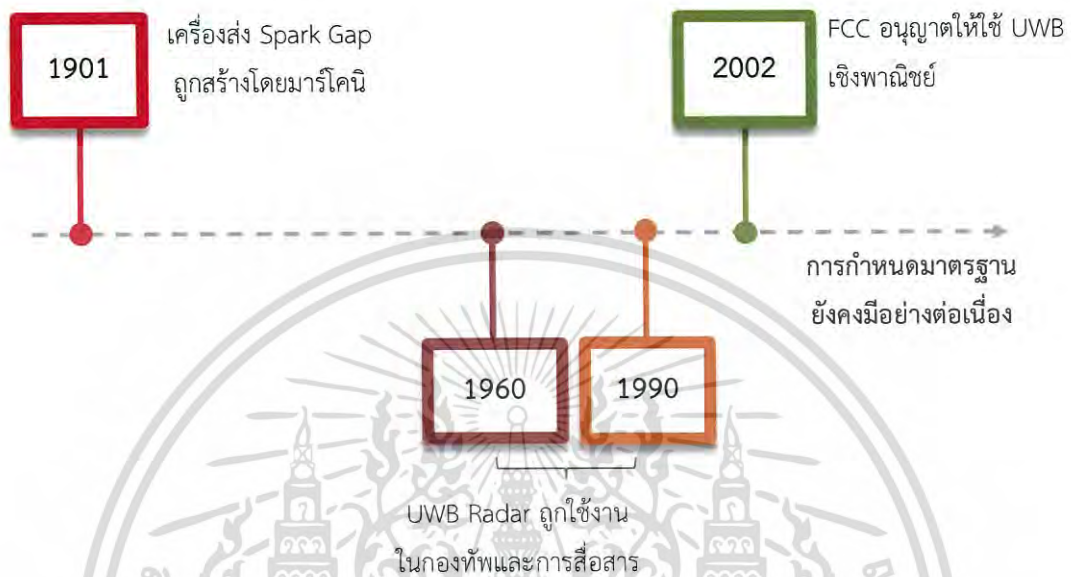
2.2 ประวัติและความเป็นมาของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

ต้นกำเนิดของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งเกิดขึ้นจากการส่งผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในโดเมนทางเวลาเริ่มขึ้นเมื่อปี ค.ศ.1962 [6] เพื่ออธิบายพฤติกรรมของเครือข่ายไมโครเวฟ (Microwave) โดยมีกรอบแนวคิดที่ค่อนข้างง่าย แทนที่จะใช้ระบบเชิงเส้นที่ไม่แปรเปลี่ยนตามเวลา (Linear time-invariant; LTI) นับเป็นวิธีการที่ง่ายกว่า กล่าวคือเป็นการวัดแอมพลิจูด (Amplitude) และเฟส (Phase) เทียบกับความถี่ ระบบ LTI สามารถตอบสนองสัญญาณอิมพัลส์ (Impulse response) $h(t)$ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการตอบสนองทางด้านเอาต์พุต $y(t)$ ของระบบ อินพุต $x(t)$ ถูกกำหนดโดยสมการอินทิกรัล [7]

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau)x(t - \tau)d\tau \quad (2.1)$$

อย่างไรก็ตามการวัดสัญญาณได้ใช้เครื่องออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) ในการสุ่มค่าของสัญญาณ และพัฒนาเทคนิคการสร้างสัญญาณพัลส์เพื่อให้ความเหมาะสมใกล้เคียงกับสัญญาณอิมพัลส์ โดยในปี ค.ศ.1968 เทคนิคการวัดสัญญาณนี้ถูกนำไปใช้ที่ช่วงแถบความถี่กว้าง จนเป็นที่ชัดเจนว่าระบบไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรดาร์พัลส์สั้นและระบบการสื่อสารสามารถพัฒนาขึ้นได้ด้วยเครื่องมือเดียวกันนี้ ต่อมาในปี ค.ศ.1978 โรสและเบนเนต ได้ประยุกต์เทคนิคหลากหลายในการประดิษฐ์ระบบเรดาร์และระบบการสื่อสารจนถึงปลายปี ค.ศ.1980 เทคโนโลยีนี้ถูกเรียกว่าเบสแบนด์ (Baseband) ส่วนคำว่า Ultra Wideband ถูกนำมาใช้ประมาณปี ค.ศ.1989 โดยกระทรวงกลาโหมสหรัฐอเมริกา



รูปที่ 2.2 ประวัติและการพัฒนาการของวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง

2.3 นิยามของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

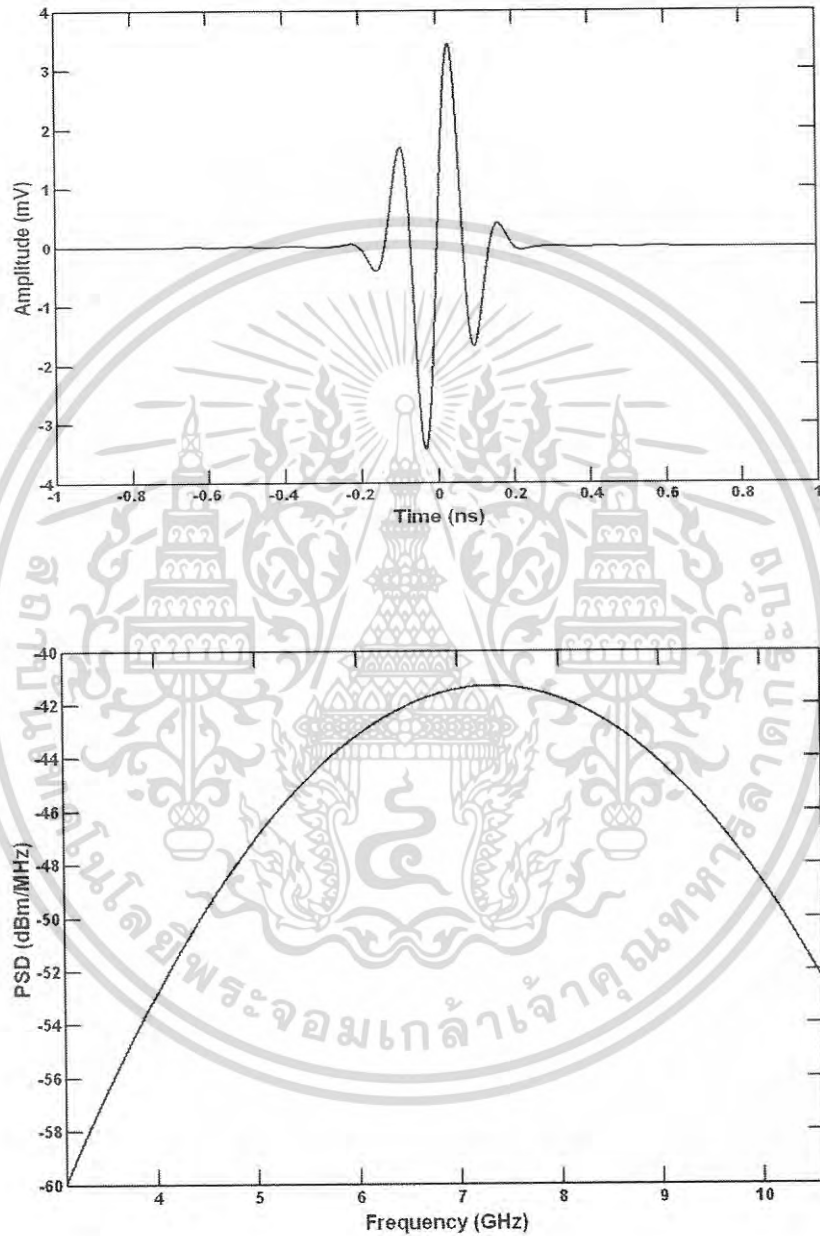
เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารที่ส่งสัญญาณเป็นพัลส์ที่มีความกว้างพัลส์แคบมากโดยมีหน่วยเป็นนาโนวินาทีหรือน้อยกว่านั้น ส่งผลให้มีแบนด์วิธกว้างมากสามารถส่งข้อมูลโดยมีอัตราการส่งที่มาก มีการใช้ความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังที่ต่ำกว่าระดับของสัญญาณแถบแคบมาก ด้วยเหตุนี้จึงทำให้สัญญาณแถบกว้างยิ่งไม่ไปแทรกสอดกับระบบการสื่อสารแถบแคบที่ใช้ความถี่ซ้อนทับกัน และทำให้สามารถใช้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งร่วมกับเทคโนโลยีการสื่อสารแถบแคบอื่น ๆ ได้

เทคโนโลยีการสื่อสารแถบกว้างยิ่งมีการใช้แถบความถี่ช่วงเดียวกันกับระบบสื่อสารแถบแคบ เพื่อป้องกันปัญหาการแทรกสอดจากสัญญาณแถบกว้างยิ่ง FCC จึงได้กำหนดช่วงความถี่ของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งให้มีความถี่ตั้งแต่ 3.1 GHz – 10.6 GHz โดยมีแบนด์วิธสูงสุดเท่ากับ 7.5 GHz นอกจากนั้นทาง FCC ยังได้กำหนดให้สัญญาณแถบกว้างยิ่งที่ถูกส่งออกมาต้องมีความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังที่ต่ำกว่าหรือเท่ากับระดับการจำกัดสัญญาณรบกวนส่วนที่ 15 หรือ -41.3 dBm/MHz

กล่าวโดยสรุปคือเทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนั้นถูกนำมาใช้ในระบบการสื่อสารแบบไร้สายโดยมีอัตราการส่งผ่านข้อมูลที่สูง และยังมีข้อแตกต่างจากระบบการสื่อสารแบบแถบแคบคือ

เป็นระบบที่ใช้สัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างในระดับนาโนวินาทีเมื่อพิจารณาในโดเมนเวลา ซึ่งได้กล่าว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไว้ใน [7] ด้วยเหตุผลนี้จึงทำให้ระบบมีความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังครอบคลุมในช่วงความถี่ที่กว้างมากอยู่ในระดับ GHz ในโดเมนความถี่ ดังปรากฏในรูปที่ 2.3 แสดงถึงตัวอย่างของสัญญาณพัลส์ในโดเมนเวลาและความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานในโดเมนความถี่ของสัญญาณแถบกว้างยิ่ง



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างของสัญญาณพัลส์ในโดเมนเวลาและความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังในโดเมนความถี่ของสัญญาณแถบกว้างยิ่ง [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 กฎข้อกำหนดของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

กฎข้อกำหนดที่สำคัญอย่างหนึ่งซึ่งได้ถูกกำหนดขึ้นในการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งคือการจัดสรรความถี่ในการใช้งาน โดยกลุ่มคณะทำงานในสหรัฐอเมริกาได้พยายามทำการจำกัดของข้อกำหนดในการใช้งานช่วงความถี่ของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งจากกฎข้อบังคับเดิมของคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา กลุ่มงานนี้ก็ก่อตั้งขึ้นอย่างเป็นทางการโดยใช้ชื่อว่า (Ultra Wideband Working Group; UWBWG) และทำการเจรจาขอตกลงร่วมกับ FCC เช่นเดียวกันกับในยุโรปก็ได้มีการหาข้อตกลงการจัดสรรคลื่นความถี่และการสอดแทรกของความถี่วิทยุ ดังกล่าวไว้ใน [6] ปัจจุบันยังไม่มีข้อกำหนดแถบความถี่สำหรับการใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่งในสถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรปหรือสหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ

2.4.1 ข้อกำหนดระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา

FCC ได้ออกประกาศเกี่ยวกับการตรวจสอบหรือ (Notice of Inquiry; NOI) ในปี ค.ศ.1998 โดยคาดการณ์ถึงระดับกำลังงานที่ใช้ในการส่งผ่านสัญญาณของสัญญาณแถบกว้างยิ่งว่าจะมีระดับต่ำมาก ๆ แล้วก็ตาม แต่ยังมีกลุ่มผู้ที่สนับสนุนในระบบเดิมที่มีใช้งานกันอยู่ได้ทำการต่อต้านการนำระบบแถบกว้างยิ่งมาใช้งานสำหรับการสื่อสารของพลเรือน โดยข้อเรียกร้องโดยมากจะเกี่ยวข้องกับการคาดการณ์ถึงการเพิ่มขึ้นของระดับการสอดแทรกในแถบความถี่ที่มีอยู่อย่างจำกัด เช่น แถบความถี่ในการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ แถบความถี่ที่สำรองไว้สำหรับคลื่นวิทยุทางดาราศาสตร์ และระบบดาวบอกพิกัด (Global Positioning System; GPS) โดยที่องค์กรบริหารการบินแห่งสหรัฐอเมริกาหรือ (Federal Aviation Administration; FAA) ได้แสดงความเห็นห่วงต่อการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบความปลอดภัยในกิจการการบินและทิศทางในการค้นคว้าเกี่ยวกับเครื่องส่งในระบบแถบกว้างยิ่งด้วยเช่นกัน

ดังนั้นในเดือน กุมภาพันธ์ ปี ค.ศ.2002 FCC จึงได้ออกกฎสำหรับระบบแถบกว้างยิ่งซึ่งเป็นการกำหนดขอบเขตของการแพร่กระจายความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังฉบับที่หนึ่งสำหรับ ระบบแถบกว้างยิ่งและยังอนุญาตให้เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในลักษณะทางการค้าอีกด้วย รายงานล่าสุดของคำประกาศและระเบียบการฉบับที่หนึ่งได้เผยแพร่ต่อสาธารณชนในวันที่ 22 เดือนเมษายน ปี ค.ศ. 2002 ได้กล่าวถึงการอนุญาตใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่งทั้ง 4 ประเภท และการกำหนดขอบเขตการแพร่กระจายความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังสำหรับการใช้งานในประเภทต่าง ๆ โดยได้กำหนดให้สัญญาณแถบกว้างยิ่งมีแบนด์วิธไม่น้อยกว่า 500 MHz หรือมีอัตราส่วนแบนด์วิธไม่น้อยกว่า 0.2 โดยที่แบนด์วิธ f_b และอัตราส่วนแบนด์วิธ B_f มีนิยามเป็น

$$f_b = f_H - f_L \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$B_f = \frac{2(f_H - f_L)}{f_H + f_L} \quad (2.3)$$

เมื่อ

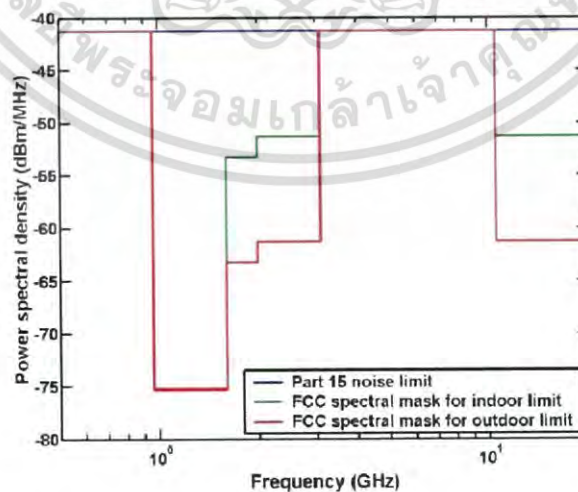
f_H คือ ความถี่สูงสุด

f_L คือ ความถี่ต่ำสุด

นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดในการแพร่กระจายความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังและสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย FCC แสดงในตารางที่ 2.1 และรูปที่ 2.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.1 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังที่กำหนดโดย FCC สำหรับการสื่อสารภายในอาคารและภายนอกอาคาร [7]

ความถี่ (MHz)	ภายในอาคาร	ภายนอกอาคาร
	EIRP in dBm	EIRP in dBm
960 – 1610	-75.3	-75.3
1610 – 1990	-53.3	-63.3
1990 – 3100	-51.3	-61.3
3100 – 10600	-41.3	-41.3
สูงกว่า 10600	-51.3	-61.3



รูปที่ 2.4 สเปกตรัมสำหรับข้อจำกัดภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย FCC [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 กฎข้อกำหนดของระบบสื่อสารแถบกว้างยิ่งในยุโรป

โครงสร้างของข้อกำหนดระบบแบบแถบกว้างยิ่งในทวีปยุโรปอยู่ในช่วงการรอข้อมูลทางเทคนิคที่เกี่ยวกับผลกระทบของระบบแถบกว้างยิ่งบนระบบเดิมที่มีการใช้กันอยู่ โดยทางยุโรปนั้นได้นำบางส่วนของข้อกำหนดของสหรัฐอเมริกามาประยุกต์ใช้แต่มีข้อแตกต่างที่กฎข้อกำหนดของยุโรปจะรัดกุมกว่า เพราะทางยุโรปนั้นต้องการแสดงให้เห็นว่าส่งผลกระทบต่อระบบเดิมที่มีอยู่ โดยข้อจำกัดการแพร่กระจายความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง สำหรับการใช้งานภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดยสหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ หรือสถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป แสดงไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานที่กำหนดโดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสารภายในและภายนอกอาคาร [8]

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

2.5 มาตรฐานระบบแถบกว้างยิ่งโดยสถาบันวิศวกรรมไฟฟ้าและวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์นานาชาติ

สถาบันวิศวกรรมไฟฟ้าและวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์นานาชาติ (Institute of Electrical and Electronic Engineers; IEEE) ได้จัดตั้งกลุ่มการศึกษามาตรฐาน 802.15.3a เพื่อกำหนดกรอบแนวคิดใหม่สำหรับระบบการสื่อสารช่วงสั้นและการส่งผ่านอัตราข้อมูลสูง เพื่อตอบสนองความต้องการของกลุ่มที่ปรารถนาจะพัฒนาการส่งผ่านข้อมูลอัตราต่ำสุดที่ 110 Mbps ที่ระยะทาง 10 เมตร สำหรับเป็นมาตรฐานในการส่งวิดีโอหรือมัลติมีเดียทดแทนการใช้สายเคเบิล (Cable) ซึ่งไม่ได้มีเจตนากำหนดไว้เป็นมาตรฐานของระบบแถบกว้างยิ่ง แต่ด้วยเกิดความต้องการที่จะใช้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งเป็นจำนวนมาก กลุ่มการศึกษาจึงได้ให้ความสนใจและความสำคัญกับเทคโนโลยีดังกล่าว ในขณะที่เกิดอภิปรายเกี่ยวกับเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งกว้างขวาง ส่งผลให้ทีมงานวิจัยของกลุ่มขึ้นโดยมีเป้าหมายเพื่อที่จะเสนอแบบจำลองการวิเคราะห์ช่องสัญญาณสำหรับนำไปใช้ในการประเมินผลระบบแถบกว้างยิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

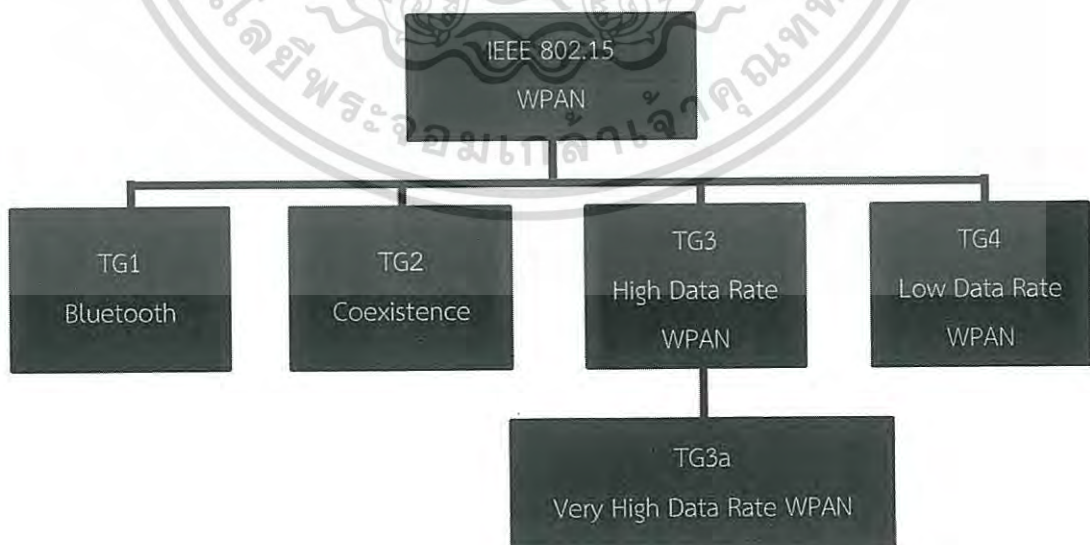
วัตถุประสงค์ของกลุ่มการศึกษาคือเพื่อกำหนดให้มาตรฐาน IEEE 802.15.3 ได้รับการรับรองสำหรับการประยุกต์ใช้งานในระบบมัลติมีเดีย โดยมีเป้าหมายดังนี้ คือ

- สามารถใช้งานร่วมกับมาตรฐาน IEEE 802 ที่มีอยู่
- กำหนดให้อัตราการส่งผ่านข้อมูลได้ไม่เกิน 100 Mbps สำหรับผู้ใช้งานทั่วไป
- มีประสิทธิภาพในการส่งผ่านหลายวิถี
- สามารถใช้กับระบบระบุตำแหน่ง
- ใช้กับคลื่นความถี่ที่ไม่มีใบอนุญาตสำหรับระบบ WPANs ที่มีอัตราการส่งผ่านสูงได้

การจัดตั้งมาตรฐาน IEEE 802.15.4a ภารกิจของกลุ่มคือการทำคำนิยามสำหรับการประยุกต์เพื่อใช้อัตราการส่งผ่านต่ำในระบบแถบกว้างยิ่ง แต่ต้องใช้แบตเตอรี่ได้นาน ตัวอย่างเช่นการประยุกต์การส่งผ่านไร้สายสำหรับเครือข่ายส่วนบุคคล ระบบเซนเซอร์และระบบเครือข่ายขนาดเล็ก ดังอธิบายใน [9] และ [10] ระบบแถบกว้างยิ่งดังกล่าวทั้งหมดยังมีความแม่นยำในระดับเซนติเมตร

ด้วยเหตุนี้จึงเป็นสิ่งที่จะทำให้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งเกิดการประยุกต์ใช้งานในระบบใหม่ ๆ ในอนาคต ข้อเสนอพื้นฐานของมาตรฐาน IEEE 802.15.4a ได้รับการยอมรับอย่างเป็นทางการเมื่อวันที่ 1 มีนาคม ค.ศ. 2005 และมาตรฐานนี้ยังอยู่ในขั้นตอนของการร่างต่อไป

มาตรฐานการสื่อสารไร้สายสำหรับภายในอาคารสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม โดยประเภทแรกของมาตรฐาน IEEE 802.11 รับผิดชอบสำหรับมาตรฐานเครือข่ายไร้สายท้องถิ่น (Wireless Local Area Network; WLAN) กลุ่มที่สองคือ 802.16 รับผิดชอบมาตรฐานเครือข่ายไร้สายบริเวณนครหลวง (Metropolitan Area Network; WMAN) สุดท้ายคือมาตรฐาน IEEE 802.15 คือมาตรฐานเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล (Wireless Personal Area Network; WPAN)



รูปที่ 2.5 มาตรฐาน IEEE 802.15 สำหรับ WPAN [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐาน IEEE 802.15 ถูกแบ่งออกเป็นสี่ส่วนหลัก ดังแสดงในรูปที่ 2.5

- กลุ่มที่ 1 (TG1) เป็นมาตรฐาน WPAN ที่ใช้สำหรับเทคโนโลยี Bluetooth บนคลื่นความถี่ 2.4 GHz ISM
- กลุ่มที่ 2 (TG2) เป็นการใช้งานของอุปกรณ์บนคลื่นความถี่ที่ไม่ได้รับอนุญาต
- กลุ่มที่ 3 (TG3) มีหน้าที่ในการกำหนดอัตราการส่งผ่านสูงเกิน 20 Mbps ขึ้นไป
- กลุ่มที่ 4 (TG4) สร้างขึ้นเพื่อกำหนดอัตราการส่งผ่านข้อมูลต่ำและใช้กำลังงานต่ำสำหรับมาตรฐาน WPAN

กลุ่ม TG3a ถูกก่อตั้งขึ้นสำหรับอัตราการส่งผ่านข้อมูลสูงในระบบ WPAN กล่าวคือเป็นทางเลือกมาตรฐาน IEEE 802.15.3 โดยมีข้อกำหนดทางเทคนิคและหลักเกณฑ์สำหรับรูปแบบ WPAN ในเดือนธันวาคม ค.ศ.2002 และมีการพัฒนามาตรฐานที่ช่วยให้อัตราส่งผ่านสูง (110 Mbps ที่ระยะทาง 10 เมตร 200 Mbps ที่ระยะทาง 4 เมตร และ 480 Mbps ที่ระยะทาง 2 เมตร มาตรฐานใหม่นี้จะช่วยทำให้เกิดการประยุกต์ใช้งานได้หลายหลายรวมถึงการส่งผ่านระบบไร้สายของภาพนิ่งและภาพเคลื่อนไหว

ภารกิจของ IEEE 802.15.3a นั้นมีการประเมินจำนวนของแบบจำลองช่องสัญญาณสำหรับการส่งผ่านภายในอาคารเพื่อที่จะหารูปแบบที่ดีที่สุดและเหมาะสมที่สุดจากการวัดช่องสัญญาณโดยใช้รูปคลื่นแถบกว้างยิ่ง เป้าหมายของแบบจำลองช่องสัญญาณนี้คือ เพื่อที่จะศึกษาคุณลักษณะมัลติพาท (Multipath) ของสภาวะแวดล้อมทั่วไป ซึ่งอุปกรณ์บนมาตรฐาน IEEE 802.15.3a ถูกคาดว่า จะสามารถทำงานได้ และแบบจำลองควรมีความเรียบง่ายที่จะใช้สำหรับประเมินผลประสิทธิภาพ

2.6 คุณลักษณะและจุดเด่นของระบบแถบกว้างยิ่ง

จุดเด่นของระบบแถบกว้างยิ่งคือ เป็นการส่งสัญญาณแบบอิมพัลส์ (Impulse) พัลส์แคบ (Short - pulse) สัญญาณที่ไม่ใช่ไซน์ซอยด์ (Non - sinusoidal) สัญญาณที่ปราศจากคลื่นพาห้ (Carrier less) แถบกว้างยวดยิ่ง (Super wideband) การอัดพัลส์แบบเอฟเอ็มอย่างรวดเร็ว (Fast frequency chirp) และพัลส์แบบโมน (Mono - pulse) [Taylor, 1995] ซึ่งเป็นระบบที่มีจุดเด่นที่น่าสนใจสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบสื่อสาร

2.6.1 เป็นระบบที่มีความซับซ้อนและต้นทุนต่ำ

ความซับซ้อนและต้นทุนที่ต่ำของระบบแถบกว้างยิ่งเกิดขึ้นจากปัจจัยทางลักษณะเบสแบนด์ (Base band) ของการส่งสัญญาณซึ่งไม่เหมือนกับระบบการส่งสัญญาณวิทยุแบบอื่น ๆ โดยเครื่องส่งจะทำการสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณน้อยมาก ๆ ในโดเมนทางเวลา ซึ่งสามารถแพร่กระจายคลื่นออกไปโดยปราศจากการเพิ่มความถี่วิทยุหรือคลื่นพาห้รวมเข้าไป

และในส่วนของการรวมสัญญาณวิทยุจะเป็นการนำสัญญาณเบสแบนด์รวมเข้าไปกับคลื่นพาห้เพื่อย้ายเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณไปยังแถบความถี่ที่มีคุณลักษณะในการแพร่กระจายคลื่นตามต้องการ ทำให้สัญญาณจะถูกแพร่กระจายได้ดีโดยปราศจากความต้องการในการเพิ่มการแปลงความถี่ให้สูงขึ้น (Up – conversion) และการเพิ่มกำลังให้สูงขึ้น (Amplification) ในทางกลับกันการแปลงความถี่ลง (Down – conversion) และตัวผลิตความถี่ (Local oscillator) ก็ไม่จำเป็นในเครื่องรับแบบแถบกว้างยิ่งเช่นกัน ทำให้ลดความซับซ้อนของระบบและต้นทุนในการผลิตลงไปได้มาก

2.6.2 มีระดับของสัญญาณใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวน

ความหนาแน่นของพลังงานต่ำและลักษณะเฉพาะในการสุ่มเทียบ (Pseudo – random) ของสัญญาณส่ง ทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนี้มีลักษณะคล้ายกับสัญญาณรบกวน ซึ่งทำให้การตรวจหาสัญญาณทำได้ยาก และยังปรากฏในเอกสารทางการวิจัยว่าการส่งสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนั้นไม่ก่อให้เกิดผลการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบคลื่นความถี่วิทยุอื่น ๆ เพราะสัญญาณของระบบแถบกว้างยิ่งมีการแพร่กระจายกำลังงานในระดับต่ำ โดยอยู่ในระดับของสัญญาณระบบรบกวน (Noise floor) จึงทำให้มองว่าสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนี้คือสัญญาณรบกวนเลย และถูกกำจัดออกจากพิจารณาของระบบการสื่อสารแบบอื่น

2.6.3 มีความต้านทานต่อคลื่นหลายวิถี และการรบกวนของสัญญาณใกล้เคียงในระบบการมอดูเลตทางเวลา

การสื่อสารแถบกว้างยิ่งนั้นมีความเป็นไปได้ที่จะทำการส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงในระดับ Mbps อีกทั้งยังประเมินจำนวนของผู้ใช้งานในระบบการสื่อสารแบบคลื่นวิทยุแบบอิมพัลส์ว่าได้จำนวนที่มากกว่าระบบทั่วไป เนื่องด้วยมีแบนด์วิธของสัญญาณส่งที่กว้างจึงทำให้ได้รับผลจากคลื่นหลายวิถีอย่างมาก เมื่อระบบมีแบนด์วิธที่กว้างนั้นทำให้เกิดความแตกต่างทางความถี่อย่างมาก รวมเข้ากับการส่งสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งที่มีการมอดูเลตทางเวลานั้นสามารถต้านทานต่อการแพร่กระจายของคลื่นหลายวิถีรุนแรงและการรบกวนหรือแทรกสอดจากสัญญาณความถี่ใกล้เคียงได้

2.6.4 มีความละเอียดสูงในโดเมนเวลาสำหรับการกำหนดตำแหน่งและการประยุกต์ใช้ในระบบติดตาม

ด้วยการส่งสัญญาณแบบพัลส์ที่มีลักษณะทางโดเมนเวลาที่แคบมาก ๆ หรือที่มีความกว้างของสัญญาณน้อยมาก ๆ ทำให้ระบบคลื่นวิทยุแบบแถบกว้างยิ่งนี้สามารถควบคุมจังหวะและคำนวณเวลาได้อย่างถูกต้องแม่นยำมากกว่าระบบดาวเทียมบอกพิกัด (Global positioning system; GPS) และระบบคลื่นวิทยุแบบอื่น ๆ และด้วยคุณสมบัติในการทะลุผ่านวัสดุได้ดี จึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนี้มีการมอดูเลตทางเวลา เหมาะที่จะนำมาใช้งานในระบบเรดาร์ระยะสั้น เช่น ในการช่วยเหลือชีวิตและปฏิบัติการป้องกันอาชญากรรม รวมทั้งมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถใช้นิวโรจันยโรคาภายในร่างกายมนุษย์ได้แม่นยำยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 รูปแบบของสัญญาณในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

2.7.1 คำจำกัดความของสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

คำจำกัดความหรือลักษณะเฉพาะโดยทั่วไปของสัญญาณแถบกว้างยิ่ง และระบบของสัญญาณเกี่ยวกับการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งรวมถึงระบบการวัด เช่น การสื่อสารความเร็วสูงภายในบ้าน อุปกรณ์เครือข่ายทางธุรกิจ อุปกรณ์ทางการแพทย์ เป็นต้น โดยอุปกรณ์นั้นต้องทำงานอยู่ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz และถูกออกแบบเพื่อให้แน่ใจว่า สามารถที่จะทำงานได้ภายในอาคารเท่านั้น หรือต้องเข้ากันได้กับอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็ก โดยสามารถนำมาติดตั้งบนร่างกายได้ และอาจจะถูกนำมาใช้ในลักษณะการสื่อสารแบบจุดต่อจุด สำหรับตัวแพร่กระจายคลื่นแถบกว้างยิ่ง จำเป็นต้องทำการออกแบบและตรวจสอบ เพื่อรับรองว่าการแพร่กระจายคลื่นในช่วงแบนด์วิธตั้งแต่ 20 dB ลงมาจากระดับสูงสุดของสเปกตรัมที่กำหนดไว้ อยู่ภายในแถบความถี่ของระบบแถบกว้างยิ่ง มีช่วงแบนด์วิธที่น้อยที่สุด วัด ณ ตำแหน่งที่ต่ำกว่าระดับสูงสุดของการแพร่กระจายลงมา 10 dBm หรือเท่ากับ 500 MHz โดยระดับที่นิยามยอมให้แพร่กระจายกำลังงานสำหรับสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งถูกกำหนดไว้ที่ -41.3 dBm/MHz ปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานกำหนดใช้รูปแบบของสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่ง แต่โดยทั่วไปสัญญาณสำหรับเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งพื้นฐานมักรับส่งสัญญาณในรูปแบบของพัลส์แคบ ๆ หรือเรียกว่าสัญญาณอิมพัลส์ ดังกล่าวไว้ใน [11] ซึ่งรูปแบบของพัลส์ที่นำมาพิจารณาสามารถแยกเป็นประเภทต่าง ๆ ของสัญญาณได้ดังนี้

2.7.2 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียน

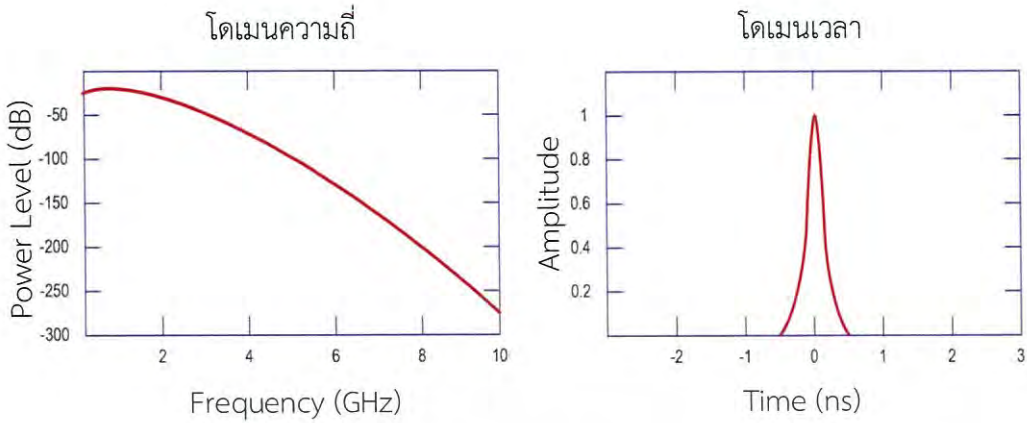
รูปคลื่นแบบเกาส์เซียน (Gaussian waveform) นั้นมีนิยามทางคณิตศาสตร์เหมือนกับฟังก์ชันเกาส์ซึ่งมีลักษณะเป็นทรงระฆังคว่ำโดยส่วนสำคัญของรูปคลื่นแบบเกาส์เซียนนั้นคือพัลส์แบบเกาส์เซียนซึ่งมีนิยามเป็นไปตามสมการ 2.4 และแสดงรูปคลื่นของสัญญาณดังรูปที่ 2.6

$$s(t) = A \exp \left[-\left(\frac{t - T_c}{2} \right)^2 \right] \quad (2.4)$$

โดยที่

- A คือ ขนาดของสัญญาณ
- τ คือ ค่าตัวแปรของสัญญาณพัลส์ (Pulse shape parameter)
- T_c คือ ค่าคาบเวลาของสัญญาณชีพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

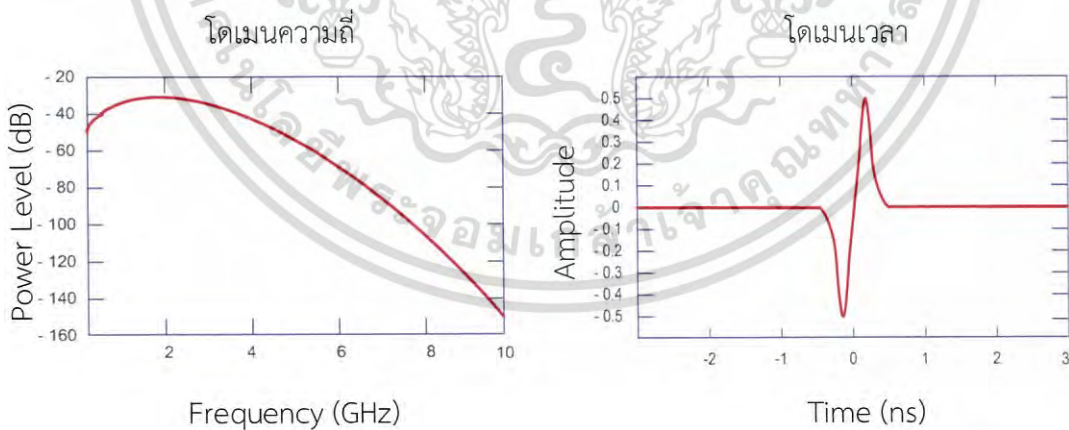


รูปที่ 2.6 รูปสัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ [11]

2.7.3 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนโมโนไซเคิล

สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนโมโนไซเคิล (Gaussian monocycle) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าอนุพันธ์อันดับหนึ่งของพัลส์แบบเกาส์เซียนโดยมีรูปแบบตามสมการที่ 2.5 และแสดงรูปสัญญาณดังปรากฏในรูปที่ 2.7

$$s(t) = \frac{2A}{\tau} \sqrt{\exp} \times \exp^{-2\pi \left[\frac{(t-Tc)}{\tau} \right]^2} \quad (2.5)$$



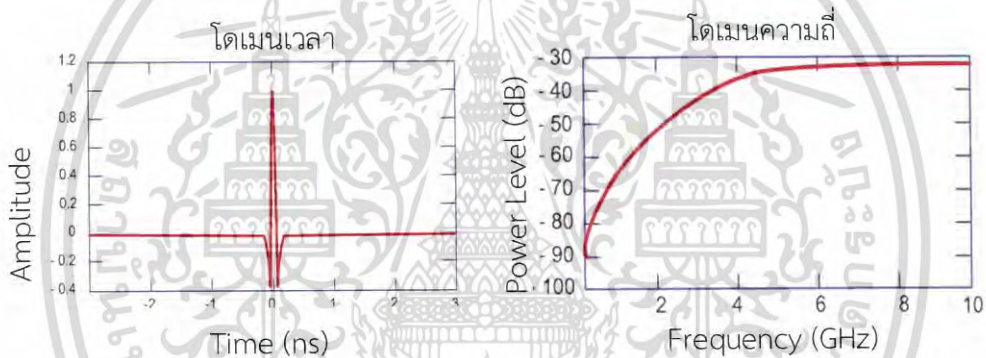
รูปที่ 2.7 รูปสัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนโมโนไซเคิลทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ [11]

2.7.4 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์ดับเลต

สัญญาณพัลส์แบบเกาส์ดับเลต (Gaussian doublet) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าอนุพันธ์อันดับสองของพัลส์แบบเกาส์โดยมีรูปแบบตามสมการที่ 2.6 และแสดงรูปสัญญาณดังรูปที่ 2.8 สัญญาณพัลส์ทั้งสามแบบเป็นพัลส์ที่มีช่วงเวลาแคบ ๆ เพียงหนึ่งพัลส์ที่มีการส่งแต่ละพัลส์แบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งแต่ละพัลส์จะมีความหนาแน่นของกำลังงานเชิงสเปกตรัมที่กว้างมากในโดเมนความถี่

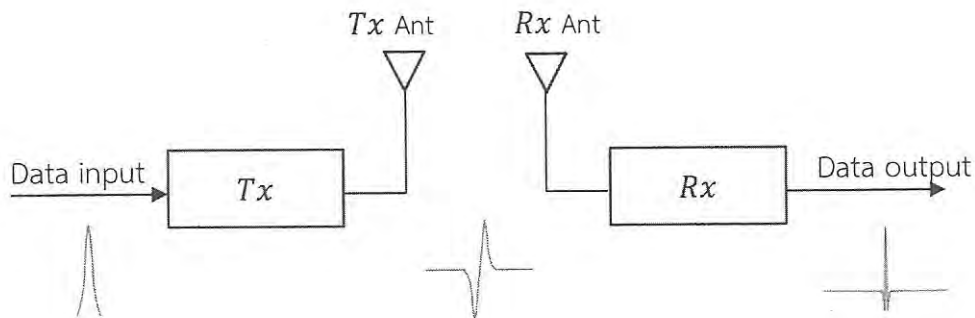
$$s(t) = \left[1 - 4\pi \left(\frac{t}{\tau_m} \right)^2 \right] \exp \left[-2\pi \left(\frac{t}{\tau_m} \right)^2 \right] \quad (2.6)$$

โดยสำหรับตัวอย่างการส่งสัญญาณพัลส์จากเครื่องส่งผ่านช่องสัญญาณไปยังเครื่องรับสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.8 รูปสัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนดับเลตทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ [11]

สัญญาณพัลส์จากวงจรแหล่งกำเนิดของเครื่องส่งที่มากกระตุ้นสายอากาศเมื่อถูกกำหนดให้เป็นพัลส์แบบเกาส์แล้ว จากนั้นเมื่อสัญญาณพัลส์ถูกส่งออกจากสายอากาศและแพร่กระจายไปในช่องสัญญาณจะถูกพิจารณาเป็นพัลส์แบบโมโนไซเคิลซึ่งเป็นสัญญาณพัลส์ที่เกิดจากทำอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของพัลส์แบบเกาส์เซียน



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างการกำเนิดสัญญาณพัลส์และการรับส่งพัลส์สำหรับเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง [11]

หลังจากที่สัญญาณพัลส์เดินทางมาถึงที่เครื่องรับโดยตกกระทบกับสายอากาศภาครับสัญญาณพัลส์จะถูกพิจารณาเป็นพัลส์แบบเกาส์เซียนดับเบิล ซึ่งเป็นสัญญาณพัลส์ที่เกิดจากการทำอนุพันธ์อันดับที่สองของพัลส์แบบเกาส์เซียน

2.8 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงประวัติความเป็นมาของเทคโนโลยีวิทยุอมพัลส์แถบกว้างยิ่ง ข้อกำหนดและมาตรฐานทั้งในสหรัฐอเมริกาและยุโรป รวมถึงนิยามของสัญญาณวิทยุอมพัลส์แถบกว้างยิ่ง และนำเสนอคุณลักษณะจุดเด่นของเทคโนโลยีวิทยุอมพัลส์แถบกว้างยิ่ง

บทที่ 3

ทฤษฎีและการวิเคราะห์การแพร่กระจายช่องสัญญาณ แถบกว้างยิ่งในสถานะแวดล้อมภายในอาคาร

3.1 กล่าวนำ

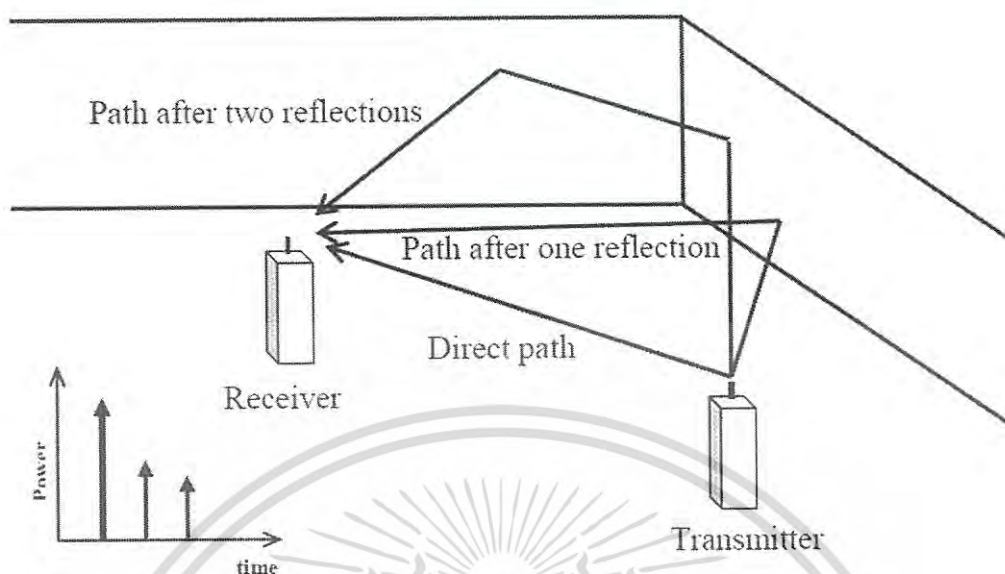
บทนี้อธิบายถึงทฤษฎีและหลักการของการแพร่กระจายช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งในสถานะแวดล้อมภายในอาคารสำหรับการสื่อสารไร้สายในโครงข่ายสำนักงาน โดยเน้นเรื่องการแพร่กระจายของระบบแถบกว้างยิ่ง สมการการส่งผ่านของฟรีสและตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง เช่น การสูญเสียเชิงวิถี ภาตตัดขวางการประวิงกำลังงาน รากกำลังสองเฉลี่ยการแผ่ประวิง อัตราผิดพลาดบิต สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และอัตราสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนการลดลงของกำลังและสัญญาณรบกวน ซึ่งเป็นสาระสำคัญสำหรับการศึกษาและพยากรณ์ช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์ที่จะกล่าวถึงต่อไป

3.2 แบบจำลองช่องสัญญาณหลายวิถีในระบบแถบกว้างยิ่ง

มัลติพาร์ท (Multipath) คือ ปรากฏการณ์ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เดินทางผ่านช่องสื่อสารจากเส้นทางที่แตกต่างกันไปยังเครื่องรับ ดังแสดงให้เห็นตามรูปที่ 3.1 ทำให้เกิดปรากฏการณ์การสะท้อนกลับ (Reflection) การดูดซึม (Absorption) การเลี้ยวเบน (Diffraction) และการกระจัดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Scattering) ซึ่งเป็นข้อจำกัดและธรรมชาติของการแพร่กระจายสัญญาณ วัตถุต่าง ๆ ที่อยู่ระหว่างเครื่องและเครื่องรับเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดผลกระทบนี้ ซึ่งหากภายในห้องไม่มีวัตถุใด ๆ ผลกระทบนี้ก็จะไม่เกิดขึ้นและการแพร่กระจายนี้ยังขึ้นอยู่กับคุณลักษณะเฉพาะของเสาอากาศส่งด้วย อย่างไรก็ตามในสถานะแวดล้อมจริงเราไม่สามารถหลีกเลี่ยงวัตถุต่าง ๆ ที่อยู่ภายในห้องได้ ระหว่างเครื่องส่งสัญญาณและเครื่องรับยังคงมีผลกระทบทางกายภาพ ทำให้เกิดสัญญาณหลายวิถีเนื่องจากความยาวที่แตกต่างกันของเส้นทาง สัญญาณอิมพัลส์จึงเดินทางมาถึงเครื่องรับสัญญาณในเวลาที่แตกต่างกัน (Delay Spread) ผลส่งให้เกิดปัญหากับสัญญาณรูปคลื่นที่รับได้

ระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งมีคุณลักษณะที่มีโอกาสน้อยมากที่จะได้รับผลกระทบจากสัญญาณหลายวิถีตามที่ได้อธิบายไว้แล้วก่อนหน้านี้ จะเห็นได้ว่าการแพร่กระจายผ่านช่องสัญญาณหลายวิถีทำให้สัญญาณพัลส์ถูกแยกเป็นหลายพัลส์เมื่อไปถึงเครื่องรับ โดยสัญญาณอิมพัลส์มีโอกาสน้อยที่จะมีคาบเกี่ยวกันทางโดเมนเวลาหรือการรบกวนกันของพัลส์เกิดขึ้น เนื่องจากเวลาในการเดินทางผ่านช่องสัญญาณไร้สายมักมีช่วงเวลาที่นานกว่าความกว้างทางโดเมนเวลาของสัญญาณอิมพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างการส่งผ่านสัญญาณอิมพัลส์ในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารที่สะท้อนกับวัตถุ [12]

เมื่อใช้เทคนิคเครื่องรับแบบเรก (Rake Receiver) สัญญาณอิมพัลส์ที่ตรวจจับได้จากหลายวิถีจะถูกรวมกันเพื่อเพิ่มระดับคุณภาพการรับของสัญญาณได้มากยิ่งขึ้น

3.3 แบบจำลองการสูญเสียเชิงวิถี

การสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) เป็นการลดทอนของสัญญาณโดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แปรตามระยะทางระหว่างภาคส่งและภาครับในระบบการสื่อสาร โดยที่ค่าเฉลี่ยกำลังของสัญญาณจะลดลงตามระยะทางระหว่างภาคส่งและภาครับที่เพิ่มมากขึ้น ดังกล่าวไว้ใน [13] การแพร่กระจายในระบบแถบกว้างยังมีคุณลักษณะเฉพาะ นั่นก็คือการถูกสะท้อนกลับในแบบจำลองการสูญเสียเชิงวิถี ดังนั้นการจำลองการแพร่กระจายในสภาวะแวดล้อมแถบกว้างจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก

3.3.1 ที่มาของแบบจำลองการสูญเสียเชิงวิถี

เป็นที่รู้กันดีว่าการสูญเสียเชิงวิถีนั้นจะเพิ่มขึ้นตามระยะทางสำหรับสภาวะแวดล้อมอวกาศว่าง อย่างไรก็ตามการลดทอนของสัญญาณในระบบการสื่อสารเนื่องจากผลกระทบทางด้านอื่น เช่น การสะท้อน การหักเห การเลี้ยวเบน การกระเจิง การถ่วงและการดูดซึมของอาคาร โครงสร้างหรือสิ่งกีดขวางอื่น ๆ ก็มีผลกระทบต่อ การลดทอนของสัญญาณทั้งสิ้น โดยการสะท้อนและการหักเหอาจเกิดขึ้นเมื่อนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแพร่กระจายไปยังวัตถุที่มีขนาดใหญ่กว่าสัญญาณของความยาวคลื่น การกระจายตัวเกิดขึ้นโดยการเผชิญหน้าของพื้นผิววัตถุโดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความไม่เรียบ เช่น ขอบคม ส่วนการกระเจิงเกิดขึ้นเมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแพร่กระจายเคลื่อนที่ผ่านวัตถุที่มีขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เล็กจำนวนมากกว่าความยาวคลื่น และการดูดซึมจะเกิดจากการเปลี่ยนพลังงานที่ส่งให้กลายเป็น สัญญาณรูปแบบอื่น เช่น ความร้อนในการส่งผ่านของเครื่องใช้ไฟฟ้า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ สัญญาณเสียง การสื่อสารไร้สายและการสื่อสารแถบกว้างยังมีคุณลักษณะที่มีผลกระทบจากจาก แพร่กระจายนี้ด้วยเช่นกัน โดยการสูญเสียเชิงวิธีสมาสามารถเขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$PL_{[dB]} = P_{[dB]} - P_{r[dB]} \quad (3.1)$$

เมื่อ

P_t คือ กำลังงานของสายอากาศส่ง

P_r คือ กำลังงานที่สายอากาศรับ

3.3.2 การสูญเสียในอวกาศว่าง (Free space path loss)

สัญญาณในระบบสื่อสารไร้สายที่กำเนิดจากภาคส่งจะต้องป้อนเข้าสายอากาศเพื่อ แปลงสัญญาณไฟฟ้าไปเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic wave) เพื่อให้แพร่กระจายผ่าน ช่องสัญญาณซึ่งโดยทั่วไปก็คืออากาศ เมื่อสัญญาณเดินทางมาถึงภาครับก็จะมีสายอากาศรับสัญญาณ ซึ่งทำหน้าที่กลับกันจากภาคส่ง เป็นการแปลงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าให้กลับไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าอีกครั้ง ในการศึกษาเรื่องการแพร่กระจายคลื่นจะเริ่มพิจารณาจากแหล่งกำเนิดที่มีการแพร่กระจายระดับ กำลังงานแบบทุกทิศทาง (Isotropic radiator) โดยการส่งคลื่นสัญญาณผ่านอวกาศว่างนั้น มักจะ นิยามให้ค่าการสูญเสียเชิงวิธึในอวกาศว่าง (Free space path loss) มีค่าเป็นอัตราส่วนระหว่าง กำลังงานของสัญญาณที่รับได้ต่อกำลังงานของสัญญาณที่ถูกส่งออกมา ซึ่งมีความสัมพันธ์ตามสมการที่ 3.2 โดยสมการความสัมพันธ์ที่ได้จะเรียกกันทั่วไปว่าสูตรการส่งผ่านสัญญาณของฟรีส (Friis' transmission formula) ดังกล่าวไว้ใน [14]

$$\frac{P_r(f)}{P_t(f)} = G_t(f)G_r(f)G_f(f) \quad (3.2)$$

$$G_t(f) = \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (3.3)$$

โดยที่

$P_r(f)$ คือ กำลังงานของสัญญาณที่รับได้

$P_t(f)$ คือ กำลังงานของสัญญาณที่ส่งออกมา

$G_f(f)$ คือ อัตราการขยายของการแพร่กระจายในอวกาศว่าง

$G_t(f)$ คือ อัตราการขยายของสายอากาศด้านส่ง (T_r) ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$G_r(f)$ คือ อัตราการขยายของสายอากาศด้านรับ (R_x)

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

โดยที่

c คือ ค่าความเร็วแสง (3×10^8 m/s)

f คือ ค่าความถี่ของสัญญาณ (Hz)

d คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับ

ค่าการสูญเสียกำลังงานของสัญญาณในอวกาศว่างโดยทั่วไปแล้วจะคิดค่าเป็นหน่วยของเดซิเบล (dB) ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} L_{dB} &= 10 \log(P_r) - 10 \log(P_t) \\ &= 32.44 + 20 \log(f) + 20 \log(d) - 10 \log(G_t) - 10 \log(G_r) \end{aligned} \quad (3.4)$$

3.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับของสัญญาณในการสื่อสารไร้สายนั้นจำเป็นต้องพิจารณา ไม่ว่าจะเป็นระดับของกำลังงาน เวลาประวิงที่เกิดขึ้นหรือความผิดเพี้ยนของรูปสัญญาณที่รับได้เมื่อทำการส่งสัญญาณจากภาคส่งไปยังภาครับ โดยผลที่เกิดขึ้นเหล่านี้จะต้องทำการตรวจสอบเบื้องต้นด้วยวิธีการวัดจากนั้นผลที่ได้จากการวัดหรือที่เรียกว่าข้อมูลดิบ (Raw data) นั้นได้นำมาวิเคราะห์ตามขั้นตอนต่าง ๆ เพื่อให้ศึกษาถึงผลกระทบหรือการเปลี่ยนแปลงดังที่ได้กล่าวไปแล้วโดยในขั้นตอนนี้มีความสำคัญต่อขั้นตอนการวัดซึ่งมีความจำเป็นต้องทำความเข้าใจในพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อผลการวิเคราะห์ที่แม่นยำและเชื่อถือได้

3.5 ทฤษฎีการประยุกต์สูตรการส่งผ่านสัญญาณของฟรีสสำหรับระบบการส่งผ่าน

ระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการสื่อสารระยะสั้น เพราะมีอัตราการรับส่งข้อมูลที่สูง และเป็น การสื่อสารแบบไร้สายที่มีกำลังการส่งต่ำ มีความสามารถในการต้านทานการแทรกสอดที่เกิดขึ้นในระบบ สำหรับในระบบแบบแถบแคบการประเมินการสูญเสียการแพร่กระจายในอวกาศว่างปกติถูกประเมินค่าโดยสูตรการส่งผ่านสัญญาณของฟรีส แต่ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ไม่สามารถที่จะนำมาใช้ได้โดยตรงกับระบบการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง เพราะสูตรการส่งผ่านของฟรีสอธิบายการส่งผ่านด้วยฟังก์ชันโดเมนทางความถี่ แต่สำหรับระบบวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่งที่มีการส่งผ่านสัญญาณแบบอิมพัลส์ ไม่สามารถนำสมการของฟรีสมาอธิบายได้โดยตรง การประยุกต์ใช้จึงต้องทำการจากฟังก์ชันโดเมนทางความถี่

ไปเป็นฟังก์ชันโดเมนทางเวลา ดังกล่าวไว้ใน [15] สำหรับสูตรการส่งผ่านของฟรีสได้อธิบายไว้ดัง
 เอกสารฉบับนี้ขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาที่ปรากฏในเอกสารฉบับนี้ ไม่สามารถนำเนื้อหาไปใช้หรือดัดแปลงเนื้อหา
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ 3.5 ซึ่งถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวาง และสามารถประยุกต์ใช้ในการคำนวณสำหรับช่องสัญญาณในระดับสายตา

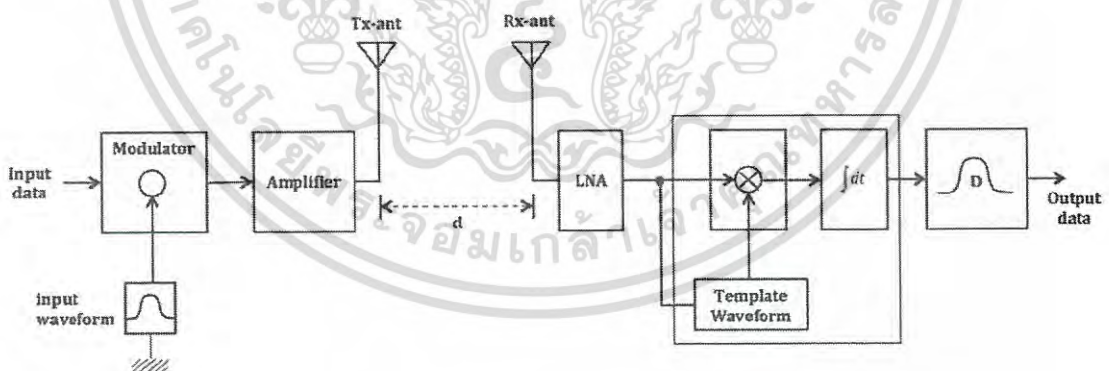
$$G_{\text{Friis}}(f, d) = \frac{p_r(f)}{p_t(f)} = G_f(f, d)G_r(f)G_i(f) \quad (3.5)$$

$$G_f(f, d) = \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (3.6)$$

เมื่อ

$G_f(f, d)$ คือ อัตราการขยายของการแพร่กระจายในอวกาศว่าง

จะสังเกตได้ว่าสมการที่ 3.5 และ 3.6 จะเหมาะกับค่าความถี่บางช่วงเท่านั้นและไม่สามารถนำมาใช้กับระบบแบบแถบกว้างยิ่งได้โดยตรง สูตรการส่งผ่านของฟรีสได้ถูกนำมาประยุกต์เพื่อใช้ในการพิจารณารูปคลื่นของสัญญาณที่ใช้ส่งผ่านและการผิดเพี้ยน สัญญาณอินพุตแทนด้วย $v_i(t)$ ซึ่งสามารถพิจารณาได้ดังสมการที่ 3.8 และทำการคอนโวลูชันสัญญาณอินพุตด้วยสัญญาณที่ใช้ในการกรองความถี่ที่แทนด้วย $h_r(t)$ สำหรับการวิเคราะห์ระบบวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่งในงานวิจัยนี้แสดงได้ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนภาพบล็อกที่ใช้ในการวิเคราะห์ระบบวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่งสำหรับการศึกษาวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v_i(t) = E_i \delta(t) * h_i(t) \quad (3.8)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} h_i^2(t) dt = \int_{-\infty}^{\infty} |H_i(f)|^2 df = 1 \quad (3.9)$$

การปรับปรุง Friis' formula เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลแสดงได้ดังนี้

$$H_{e-Friis}(f, d) = \frac{V_r(f)}{E_i} = H_f(f, d) H_i(f) H_r(f) \cdot H_t(f) \quad (3.10)$$

เมื่อ

$H_f(f, d)$	คือ ฟังก์ชันการถ่ายโอนในอวกาศว่าง
$H_i(f)$	คือ ฟังก์ชันการถ่ายโอนของสัญญาณอิมพัลส์
$H_r(f)$	คือ ฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศด้านรับ
$H_t(f)$	คือ ฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศด้านส่ง
$V_r(f)$	คือ ฟังก์ชันความหนาแน่นแถบกำลังงานของสัญญาณรับ
$E_i(f)$	คือ สัญญาณส่งอิมพัลส์

$$\begin{aligned} H_a(f) &= H_a(\theta_a, \varphi_a, f) \\ &= \hat{\theta}_a H_{a\theta}(\theta_a, \varphi_a, f) + \hat{\varphi}_a H_{a\phi}(\theta_a, \varphi_a, f) \end{aligned} \quad (3.11)$$

สมการที่ 3.11 เป็นฟังก์ชันของเวกเตอร์ที่ใช้ส่งผ่านแบบซับซ้อนของสายอากาศ และสัมพันธ์กับสายอากาศแบบไอโซทรอปิก (isotropic)

$$H_r(f, d) = \frac{\lambda}{4\pi d} \exp(-jkd) \quad (3.12)$$

สมการที่ 3.12 เป็นฟังก์ชันการส่งผ่านแบบอวกาศว่าง เมื่อ

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (3.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ k เป็นค่าคงที่ของการแพร่กระจาย ส่วนเวกเตอร์หนึ่งหน่วย $\hat{\theta}_a$, $\hat{\phi}_a$ แสดงถึงค่าโพลาไรซ์ และเป็นตัวจำกัดความระบับพิกัด (Coordinates) ของสายอากาศแต่ละตัว จากความสัมพันธ์ที่กล่าวมา สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 3.14 และ 3.15

$$\hat{\theta}_r = \hat{\theta}_t \quad (3.14)$$

$$\hat{\phi}_r = -\hat{\phi}_t \quad (3.15)$$

เมื่อ

$$a = r \text{ หรือ } t$$

3.6 เครื่องรับสหสัมพันธ์ (Correlation receiver)

อัตราส่วนของสัญญาณระหว่างสัญญาณที่ต้องการกับสัญญาณรบกวน ขึ้นอยู่กับสัญญาณรูปคลื่นต้นแบบ (Template waveform) ดังกล่าวไว้ใน [15] โดยเอาต์พุตของเครื่องรับสหสัมพันธ์สามารถพิจารณาได้ดังสมการที่ 3.16

$$v_o(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v_r(t) h_w(t-\tau) dt \quad (3.16)$$

$$v_r(t) = \int_{-\infty}^{\infty} H_c(f) V_t(f) e^{j2\pi ft} df \quad (3.17)$$

เมื่อ

$v_o(\tau)$ คือ เอาต์พุตของเครื่องรับสหสัมพันธ์

$h_w(t)$ คือ อิมพัลส์เรสพอน

τ คือ ช่วงเวลาที่เท่ากันของสัญญาณรูปคลื่นต้นแบบ

$H_c(f)$ คือ ฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณ

3.7 ทฤษฎีการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss)

การสูญเสียเชิงวิถีเป็นอัตราส่วนระหว่างการสูญเสียของกำลังงานทางด้านส่ง (Power of transmitter) เทียบกับกำลังงานทางด้านรับ (Power of receiver) เพื่อแสดงว่าระบบที่ใช้งานอยู่นั้นมีการเปลี่ยนแปลงค่าของระดับสัญญาณเป็นอย่างไร ดังได้อธิบายไว้ใน [16] โดยสามารถพิจารณาได้ดังสมการที่ 3.18

$$P_{LWB} [\text{dB}] = 20 \log \left[\max \left[\frac{|v_t(t)|}{|v_r(t)|} \right] \right] \quad (3.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ขนาดของสัญญาณที่ใช้มีค่าเท่ากับ 1 ดังนั้น สามารถจัดสมการใหม่ได้ดังนี้

$$P_{\text{UWB}}[\text{dB}] = 20\log[\max|v_r(t)|] \quad (3.19)$$

กำหนดให้

$P_{\text{UWB}}[\text{dB}]$	คือ การสูญเสียเชิงวิถี
$v_t(t)$	คือ สัญญาณทางด้านส่ง
$v_r(t)$	คือ สัญญาณทางด้านรับ

3.8 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน (Power Delay Profile; PDP)

ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานเป็นพารามิเตอร์ที่นำมาวิเคราะห์ให้เห็นถึงระดับกำลังงานของสัญญาณที่เข้ามายังภาครับที่เวลาแตกต่างกัน ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของสัญญาณที่มีการสะท้อนหลายทิศทางหรือคลื่นหลายวิถี โดยเป็นความสัมพันธ์ระหว่างระดับกำลังงานของสัญญาณที่ได้รับเทียบกับเวลาที่เข้ามาถึงดังรูปที่ 3.3 และนอกจากนั้นสามารถนำไปพิจารณาถึงผลการกระจายทางเวลา (Time Dispersion) อันประกอบไปด้วย ค่าการประวิงส่วนเกินเฉลี่ย (Mean excess delay) และรากกำลังสองเฉลี่ยการแผ่ประวิง (RMS delay spread) ซึ่งพิจารณาได้ตั้งสมการที่ (3.20) ถึงสมการที่ (3.22) ตามลำดับ

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_{i=1}^n P(\tau_i)\tau_i}{\sum_{i=1}^n P(\tau_i)} \quad (3.20)$$

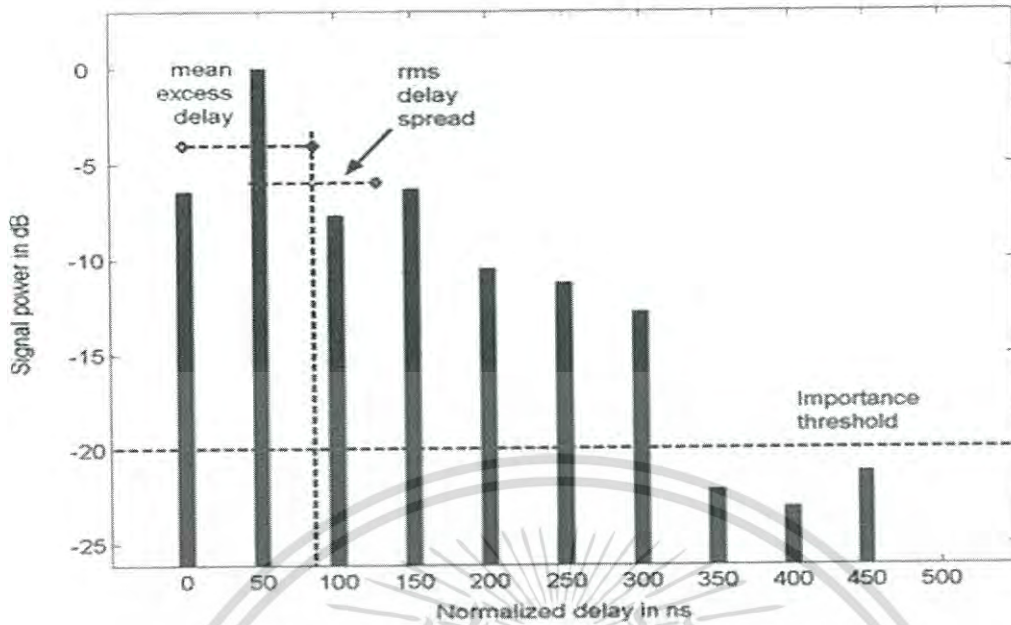
$$\tau_{\text{RMS}} = \sqrt{\tau^2 - (\bar{\tau})^2} \quad (3.21)$$

$$\tau^2 = \frac{\sum_{i=1}^n P(\tau_i)\tau_i^2}{\sum_{i=1}^n P(\tau_i)} \quad (3.22)$$

โดยที่

$\bar{\tau}$	คือ การประวิงส่วนเกินเฉลี่ย
τ_{RMS}	คือ การแผ่ประวิง RMS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน [17]

3.9 อัตราความผิดพลาดบิต (Bit error rate; BER)

อัตราความผิดพลาดบิตใช้ในการวิเคราะห์ระดับความผิดพลาดที่เข้ามายังภาครับ ซึ่งบ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการส่งผ่านข้อมูลในแต่ละจุดที่ได้ทำการวิเคราะห์ โดยพิจารณาจากสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์การส่งผ่านระหว่างสัญญาณที่รับได้กับค่าสัญญาณที่ใช้ในการส่ง ดังแสดงในสมการที่ 3.23

$$C_c = \frac{\max |r_{v,h_c}(\tau)|}{\sqrt{\max |r_{v_i}(\tau)| \cdot \max |r_{h_c}(\tau)|}} \quad (3.23)$$

วิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้แบบแผนการมอดูเลตแบบชั่วคราวกันซึ่งเป็นการมอดูเลตทางแอมพลิจูดของสัญญาณอิมพัลส์ไบนารี (Bi-phase pulse amplitude modulation; BPAM) ในการวิเคราะห์ช่องสัญญาณการส่งผ่านของระบบแถบกว้างยิ่งบนร่างกายมนุษย์สามารถแสดงได้ในสมการที่ 3.24

$$BER = Q \left[\sqrt{2 \left(\frac{E_b}{N_0} \right) C_c} \right] \quad (3.24)$$

โดยที่

E_b คือ พลังงานต่อบิต (J/bit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C_c คือ ฟังก์ชันสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

N_0 คือ ความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของสัญญาณรบกวน (dBm/MHz)

และฟังก์ชัน $Q(x)$ หาได้จาก

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-t^2/2} dt, \quad x \geq 0 \quad (3.25)$$

3.10 สรุป

ในบทนี้กล่าวถึงขั้นตอนและกระบวนการในการวิเคราะห์การแพร่กระจายช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่ง โดยกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการของวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง ที่ใช้สัญญาณพัลส์ในการรับส่งระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการพิจารณาการส่งผ่าน จะใช้สมการการส่งผ่านของฟรีส ที่อธิบายในเทอมของโดเมนทางด้านความถี่ แต่สำหรับกรณีของสัญญาณวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง ที่ส่งสัญญาณอิมพัลส์บนแถบความถี่สเปกตรัมที่กว้างมาก ไม่สามารถนำสมการการส่งผ่านของฟรีสมาใช้ได้โดยตรง ต้องทำการประยุกต์สูตรการส่งผ่านของฟรีส ให้อยู่ในรูปเทอมของโดเมนทางด้านเวลา

บทที่ 4

การทดลองและแบบจำลองการวัดช่องสัญญาณ สำหรับการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง

4.1 กล่าวนำ

บทนี้อธิบายเกี่ยวกับวิธีทดลองและการวัดจริงของสัญญาณวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง (Ultra Wideband - Impulse Radio; UWB-IR) ในห้องเรียนขนาดใหญ่ E12-1101 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยทำการศึกษาวิจัยคุณลักษณะช่องสัญญาณวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง และทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการแพร่กระจายของช่องสัญญาณวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง ตลอดจนทดสอบคุณภาพของช่องสัญญาณการส่งผ่านในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร การวัดและการทดสอบอยู่บนพื้นฐานของการจำลองช่องสัญญาณโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเวกเตอร์ และสายอากาศแบบกรวยคู่ทั้งภาคส่งและภาครับ ซึ่งสายอากาศส่งกำหนดให้อยู่ประจำที่ ส่วนสายอากาศภาครับกำหนดให้มีการเคลื่อนย้ายตำแหน่งตามแบบแผนการทดลองที่วางไว้ จำนวนจุดสำหรับการวัดถูกกำหนดไว้ที่ 121 จุด โดยที่แต่ละจุดห่างกัน 0.4 เมตร จุดที่อยู่ใกล้สุดระหว่างภาคส่งและภาครับเท่ากับ 2.90 เมตร และจุดที่ไกลสุดอยู่ที่ 6.66 เมตร

งานวิจัยนี้พิจารณาผลกระทบของช่องสัญญาณวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่งที่เกิดจากการจัดวางสายอากาศออกเป็นสี่รูปแบบทั้งแนวตั้งและแนวนอน เพื่อจำลองสภาวะการโพลาไรซ์ของสายอากาศในรูปแบบต่าง ๆ สำหรับค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้นถูกกำหนดให้เหมือนกันทุกแบบ ซึ่งรูปแบบของการจัดวางสายอากาศส่งและสายอากาศรับแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 รูปแบบการกำหนดทิศทางการวางสายอากาศสำหรับการวัด

รูปแบบ	การจัดวางทิศทางของสายอากาศส่งและสายอากาศรับ	
	สายอากาศส่ง	สายอากาศรับ
1	แนวตั้ง	แนวตั้ง
2	แนวตั้ง	แนวนอน
3	แนวนอน	แนวนอน
4	แนวนอน	แนวตั้ง

สำหรับแนวคิดของแบบจำลองนี้เราได้ทำการสมมุติว่าทางภาคส่งสัญญาณคืออุปกรณ์
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีใช้งานที่อนุญาตซึ่งหมายถึงการใช้งานในวงจำกัดเท่านั้น
แอคเซสพอยท์ (Access Point) และด้านภาครับคืออุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น คอมพิวเตอร์ เครื่องรับโทรทัศน์ดิจิทัล เครื่องบันทึกภาพ โทรศัพท์มือถือสมาร์ทโฟน ฯลฯ ซึ่งสามารถรับสัญญาณจากแอสเซมบลีที่ทำกรวัดและบันทึกข้อมูลโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ และโปรแกรม Matlab ถูกใช้สำหรับการจำลองและวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น การพิจารณาการสูญเสียเชิงวิถี ภาพตัดขวางการประวิงกำลังงาน รากกำลังสองเฉลี่ยการแผ่ประวิง อัตราผิดพลาดบิต สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และอัตราสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน

4.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

4.2.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์

การวัดช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 4.1 โดยประกอบด้วย จอแสดงผล (Monitor) เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ รุ่น HP-8510C ชุดทดสอบพารามิเตอร์การกระจาย (S-Parameter Test Set) รุ่น HP-8814B และเครื่องสังเคราะห์ความถี่ (Frequency Synthesized Sweeper) รุ่น HP-83620A



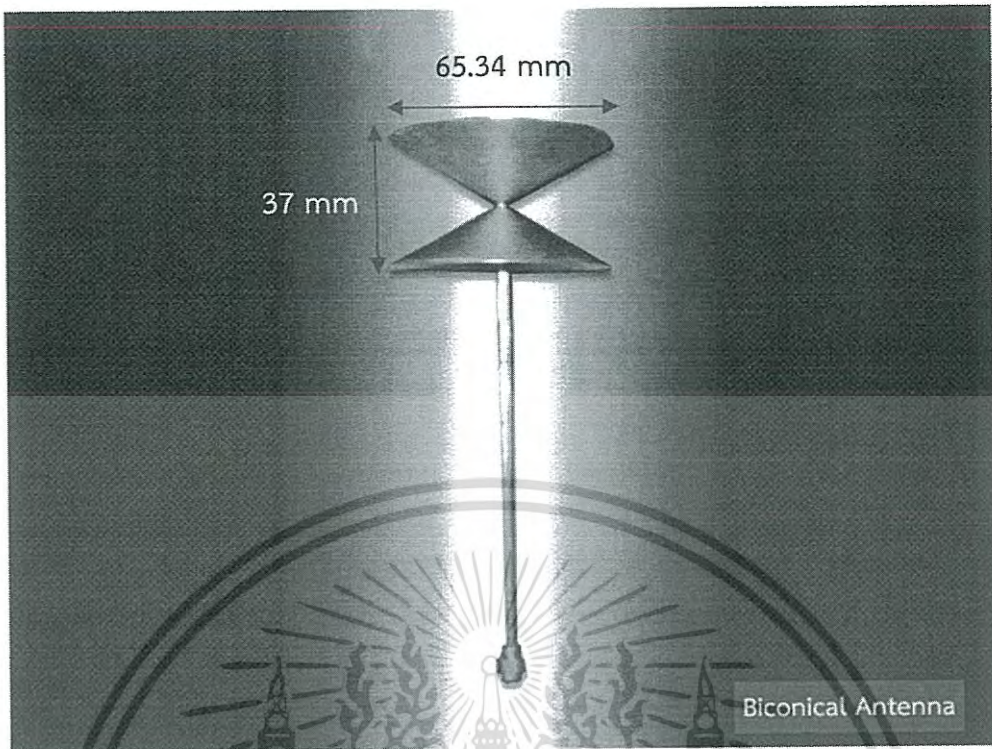
รูปที่ 4.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

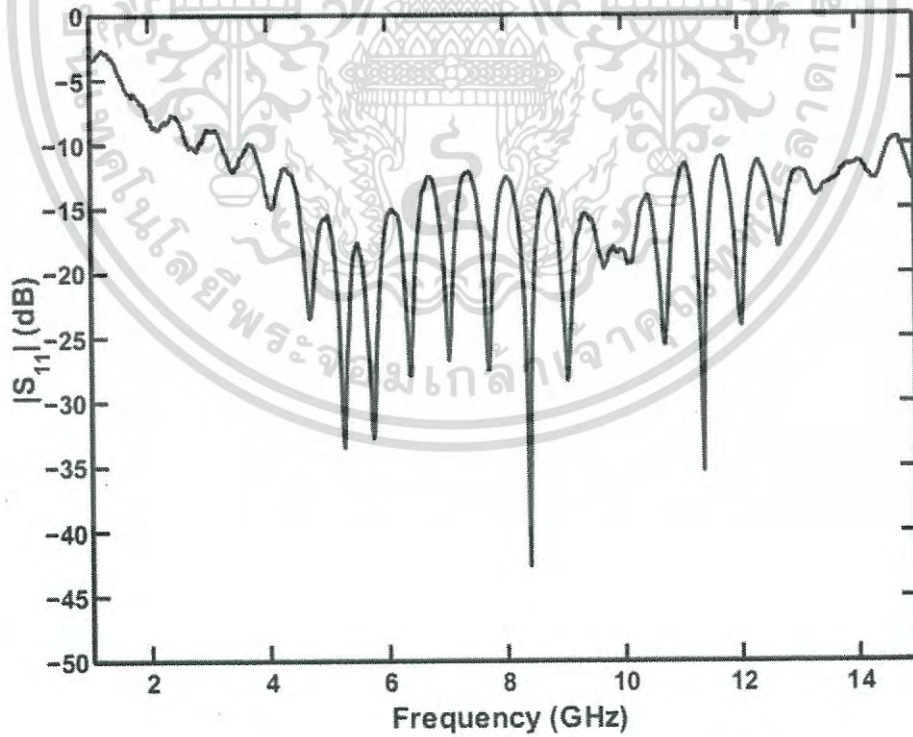
ตามลำดับจากบนลงล่างเป็นอุปกรณ์หลักในการทดลอง ซึ่งจะถูกรวมผ่านคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่เชื่อมต่อผ่านช่องสื่อสารแบบ GPIB (General Purpose Interface Bus) อุปกรณ์ชนิดนี้จะมีคุณสมบัติที่สามารถตรวจวัดสัญญาณในโครงข่ายหนึ่งพอร์ทและสองพอร์ท ซึ่งในการทดลองนี้จะทำการตรวจวัดแบบสองพอร์ทโดยพอร์ทที่หนึ่งคือพอร์ทที่ใช้ในการส่งสัญญาณ ส่วนพอร์ทสองจะใช้ในการรับสัญญาณ โดยที่ปลายของพอร์ททั้งสองจะถูกต้องด้วยสายอากาศ และทำการวัดในโดเมนความถี่

4.2.2 สายอากาศแบบกรวยคู่

ระบบการสื่อสารไร้สายอากาศถือว่าเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก สำหรับการส่งและรับสัญญาณ โดยสายอากาศทำหน้าที่เป็นตัวแปรสัญญาณเพื่อการรับส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งสัญญาณที่ได้จากวงจรอิเล็กทรอนิกส์เป็นสาเหตุทำให้อิเล็กตรอน (Electron) ในสายอากาศแกว่งไปมาและสร้างการแผ่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาส่งผ่านไปยังอากาศหรืออวกาศว่าง สำหรับการกระจายคลื่นขึ้นอยู่กับการออกแบบของสายอากาศ โดยที่สายอากาศส่งของสถานีวิทยุอาจจะถูกออกแบบให้คลื่นที่ส่งออกมาเป็นแบบกระจายทุกทิศทาง ขณะที่สายอากาศบางแบบที่ใช้สำหรับระบบการค้นหา หรือการสื่อสารอวกาศว่างอาจจะถูกออกแบบให้เน้นทิศทางของคลื่นเพียงทางเดียว สำหรับวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ (Biconical Antenna) ทั้งด้านภาคส่งและรับดังรูปที่ 4.2 ซึ่งเป็นสายอากาศที่สร้างขึ้นใช้งานในแล็บ และมีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานในการสื่อสารภายในอาคาร เนื่องจากมีการแผ่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง และมีคุณสมบัติของสายอากาศที่ตอบสนองความถี่ได้กว้างสามารถรองรับการใช้งานในย่านความถี่ตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ตามข้อกำหนดย่านความถี่การใช้งานของระบบแถบกว้างยิ่งของ FCC มีขนาดของสายอากาศเล็ก เฟสมีความเป็นเชิงเส้นตลอดช่วงความถี่ มีแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นรอบตัวตามแนวตั้งของสายอากาศ โดยรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นถึงลักษณะโครงสร้างของสายอากาศ สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ และอัตราขยายของสายอากาศที่มุมต่าง ๆ ตามลำดับ

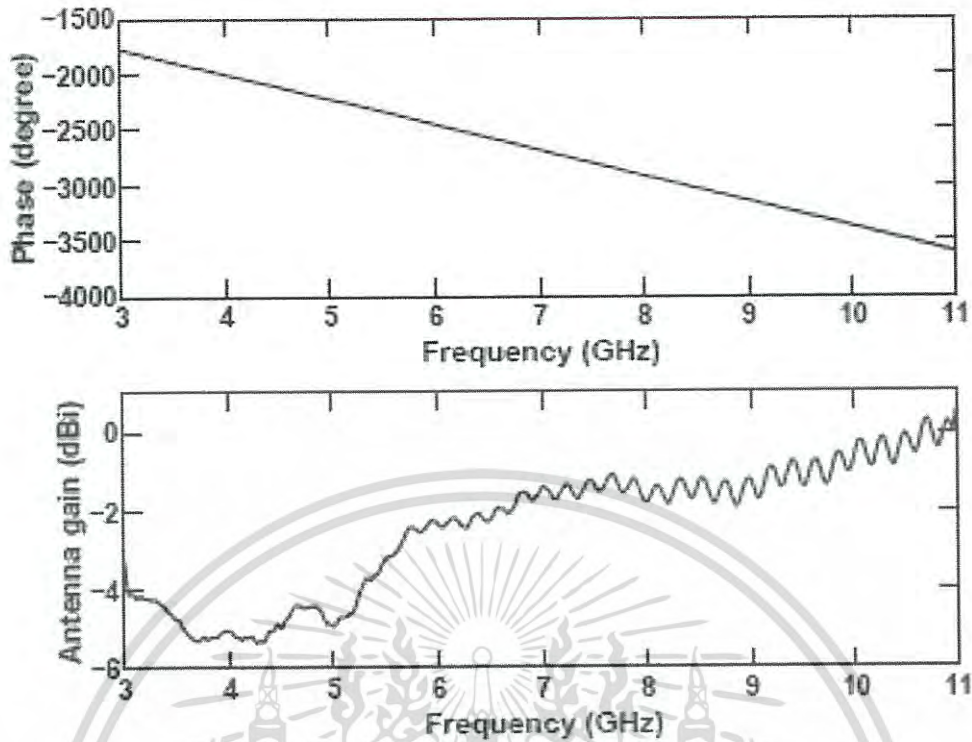


รูปที่ 4.2 โครงสร้างและขนาดของสายอากาศแบบกรวยคู่ [18]



รูปที่ 4.3 สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ $|S_{11}|$ คุณสมบัติของสายอากาศแบบกรวยคู่ [18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 เฟสและแมกนิจูดการถ่ายโอนฟังก์ชันของสายอากาศ [18]

4.3 การจัดการเกี่ยวกับการวัด

ที่เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเวกเตอร์ พอร์ทที่ 1 ถูกต่อเข้ากับสายอากาศส่ง และพอร์ทที่ 2 ถูกต่อเข้ากับสายอากาศรับ สายอากาศที่ใช้สำหรับการวัดเป็นแบบกรวยคู่ที่สร้างขึ้นมาใช้เองภายในแลป โดยมีลักษณะการแพร่กระจายเป็นแบบรอบทิศทาง (Omni directional) และมีศูนย์กลางเฟสที่คงที่สำหรับช่วงกำลังงานพลวัตถูกแสดงไว้ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งตามสเปคของเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเวกเตอร์จะเท่ากับ 100 dB แต่เนื่องจากสายเคเบิล (Cable) ที่ใช้งานนั้นมีการสูญเสียของช่วงกำลังงานพลวัตไป 20 dB จึงทำให้ช่วงกำลังงานพลวัตที่ใช้จริงเท่ากับ 80 dB

4.4 พารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์

พารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการทดลองถูกแสดงไว้ดังตารางที่ 4.2 จะสังเกตเห็นว่าการสอบเทียบของอุปกรณ์การวัดได้ดำเนินการไว้เรียบร้อยแล้ว ณ จุดเชื่อมต่อของสายเคเบิลไปยังสายอากาศ ดังนั้นความบกพร่องอื่น ๆ ทั้งหมดของคุณลักษณะสายอากาศจะถูกรวมอยู่ในผลของการวัดด้วย

ตารางที่ 4.2 ค่าพารามิเตอร์สำหรับการทดลอง

พารามิเตอร์	ค่าที่ทดสอบ
ช่วงความถี่	3.00 GHz ถึง 11.00 GHz
จำนวนจุดความถี่	801
ช่วงกำลังงานพลวัต	80 [dB]
ความสูงของสายอากาศส่ง	2.80 เมตร
ความสูงของสายอากาศรับ	0.70 เมตร
ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและรับ	2.90 เมตร ถึง 6.66 เมตร
ระยะการเคลื่อนสายอากาศรับแต่ละช่วง	0.40 เมตร

4.5 แบบจำลองรูปคลื่นสัญญาณการส่งผ่านแถบกว้างยิ่ง

การวิเคราะห์รูปคลื่นสัญญาณการส่งผ่านแถบกว้างยิ่งที่ใช้ในการวิจัยนี้ได้พิจารณาในส่วนของสัญญาณอิมพัลส์ตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ซึ่งเป็นความถี่ครอบคลุมตลอดทั้งช่วงที่ FCC กำหนด โดยมีความถี่ศูนย์กลางและแบนด์วิธรวมเท่ากับ 6.85 GHz และ 7.5 GHz ตามลำดับ ในส่วนของการวิเคราะห์การทดลองนั้นได้ใช้สัญญาณพัลส์ที่เรียกว่า แถบผ่านสี่เหลี่ยม ในการวิเคราะห์โดยกำหนดความถี่ต่ำสุด (f_{\min}) เท่ากับ 3.1 GHz ความถี่สูงสุด (f_{\max}) เท่ากับ 10.6 GHz และสเปกตรัมแบนด์วิธ (f_b) เท่ากับ 7.5 GHz รูปแบบของสัญญาณอิมพัลส์ที่ใช้วิเคราะห์มีนิยามดังสมการที่ 4.1 และความหนาแน่นสเปกตรัมแสดงได้ดังสมการที่ 4.2

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

$$v_t(f) = \begin{cases} \frac{A}{2f_b} & \left\| |f| - f_c \right\| \leq \frac{f_b}{2} \\ 0 & \left\| |f| - f_c \right\| > \frac{f_b}{2} \end{cases} \quad (4.2)$$

โดยที่ $\text{sinc}(x) = \frac{\sin(\pi x)}{(\pi x)}$ (4.3)

เมื่อ

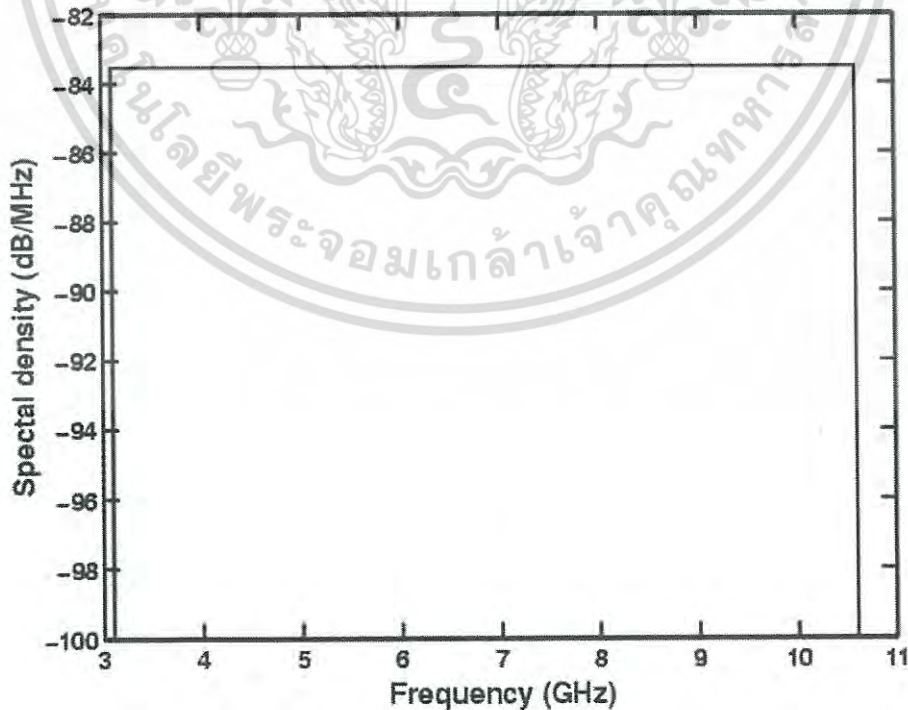
t คือ ค่าเวลา (Time)

A คือ แอมพลิจูดสูงสุด

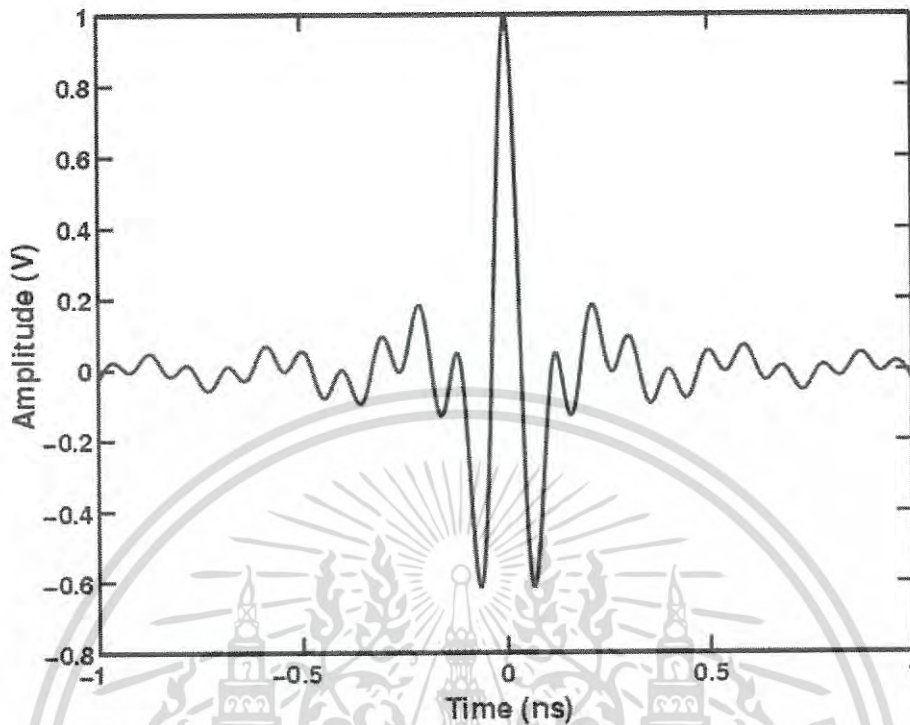
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- f คือ ค่าความถี่ (Frequency)
 f_c คือ ค่าความถี่กลาง (Center frequency)
 f_b คือ แบนด์วิธ (Bandwidth)
 f_{\min} คือ ค่าความถี่ต่ำสุด (Minimum frequency)
 f_{\max} คือ ค่าความถี่สูงสุด (Maximum frequency)

รูปคลื่นนี้มีความหนาแน่นสเปกตรัมเป็นรูปสี่เหลี่ยมทั้งในด้านความถี่บวกและความถี่ลบ โดยความหนาแน่นสเปกตรัมจะมีขนาดคงที่เท่ากับ $A/(2f_b)$ อยู่ในช่วงความถี่ตั้งแต่ $-f_{\max}$ ถึง $-f_{\min}$ และ f_{\min} ถึง f_{\max} และจะมีเฟสเป็นศูนย์ รูปคลื่นนี้เป็นรูปคลื่นแบบแถบกว้างยิ่งในอุดมคติ ดังนั้นจึงใช้พิจารณาหาขอบจำกัดสูงสุดที่เป็นไปได้ของแบนด์วิธมากที่สุด แอมพลิจูดมากที่สุด และกำลังมากที่สุดของรูปคลื่นแบบแถบกว้างยิ่ง รูปคลื่นนี้จะมีความสมมาตรแบบฟังก์ชันคู่ และมีส่วนประกอบกระแสตรง (Direct current; DC) เป็น รูปที่ 4.5 แสดงถึงความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของรูปคลื่นที่ใช้ในการส่งผ่านระบบวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งในโดเมนความถี่ โดยมีแกน X แสดงถึงค่าความถี่และแกน Y แสดงถึงค่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานในหน่วยของ dBm/MHz ศูนย์รูปที่ 4.6 แสดงถึงรูปคลื่นสัญญาณที่ใช้ในโดเมนเวลาโดยแกน X แสดงถึงค่าของเวลาและแกน Y แสดงถึงขนาดของแอมพลิจูดที่ใช้ในการส่งผ่านระบบวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งมีค่าเท่ากับ 1 โวลต์



รูปที่ 4.5 ความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของรูปคลื่นสัญญาณวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง
 เอกสารนี้เผยแพร่โดยศูนย์วิจัยและพัฒนาการสื่อสารของสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



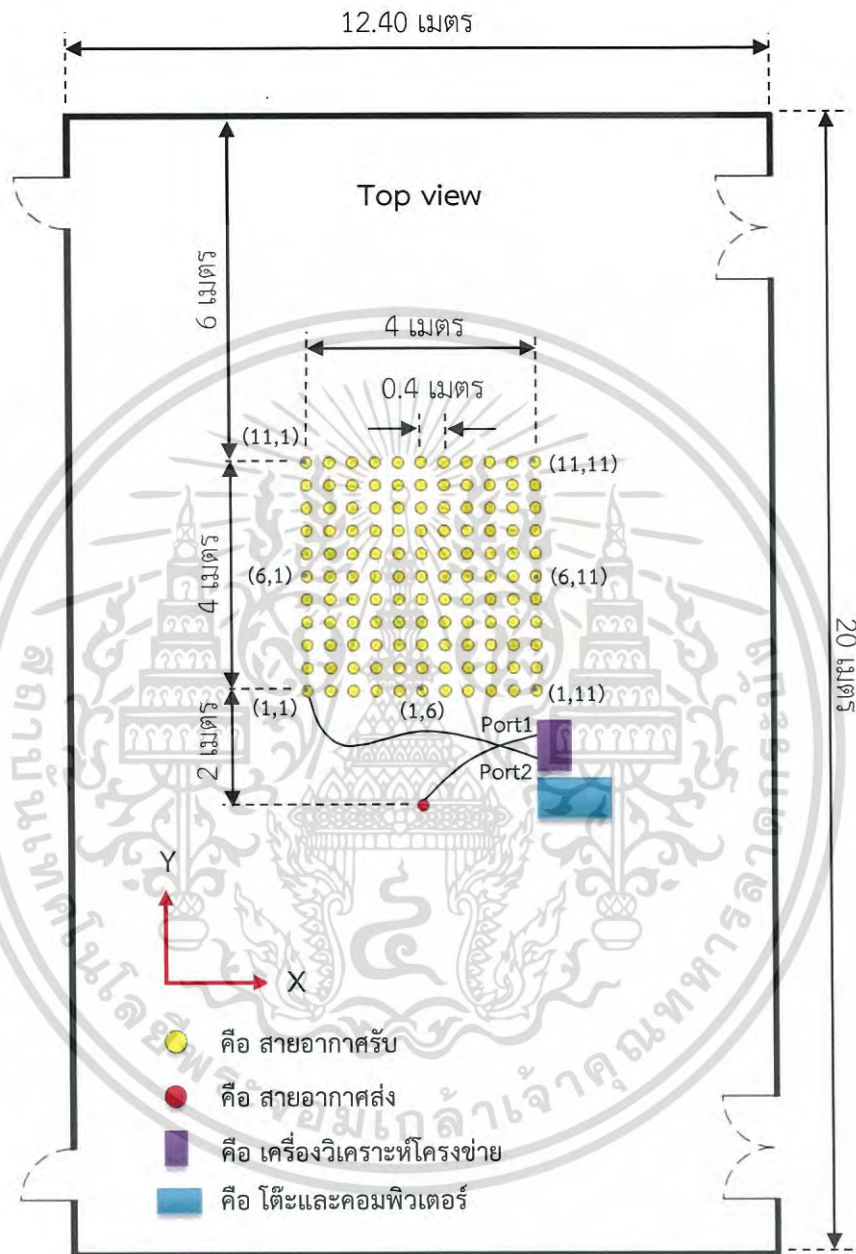
รูปที่ 4.6 รูปคลื่นสัญญาณที่ใช้ในการส่งผ่านของระบบวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง

4.6 แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

การวัดช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งสำหรับวิทยานิพนธ์ ได้ใช้แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณดังรูปที่ 4.5 ซึ่งมีการติดตั้งและจัดวางอุปกรณ์การทดลองดัง รูปที่ 4.6 โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเวกเตอร์ สายอากาศสำหรับการทดสอบเป็นสายอากาศแบบกรวยคู่ทั้งภาคส่งและภาครับโดยตำแหน่งพอร์ทที่ 1 ถูกเชื่อมต่อเข้ากับสายอากาศส่งด้วยสายเคเบิลขนาดความยาว 3 เมตร ที่ระดับความสูงของสายอากาศเท่ากับ 2.8 เมตร และตำแหน่งของพอร์ทที่ 2 ถูกเชื่อมต่อกับสายอากาศรับด้วยสายเคเบิลขนาดความยาว 7 เมตร ที่ระดับความสูงของสายอากาศเท่ากับ 0.7 เมตร ระยะห่างที่ใกล้สุดระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับเท่ากับ 2.90 เมตร ที่จุด (1,6) ระยะห่างที่ไกลสุดเท่ากับ 6.66 ที่จุด (11,1) และ (11,11) เสาอากาศส่งจะถูกกำหนดให้อยู่ประจำที่ ส่วนเสาอากาศรับถูกกำหนดให้เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่าง ๆ ตามจุดวัดได้กำหนดไว้ ดังปรากฏตามรูปที่ 4.5 โดยมีการติดตั้งอุปกรณ์การทดลองดังรูปที่ 4.8 การเคลื่อนที่ของสายอากาศรับเริ่มจากแถวที่หนึ่ง ณ จุดที่ (1,1) โดยเมื่อทำการวัดช่องสัญญาณจากจุดดังกล่าวเสร็จ ก็ทำการย้ายตำแหน่งจุดวัดไปยังจุดที่ (1,2) และจุดที่ (1,3) จนถึงจุดที่ (1,11) ตามลำดับ สำหรับการทดลองวัดแถวที่สองเริ่มจากจุด (2,11) และวัดย้อนกลับไปยังจุดที่ (2,10) และจุดที่ (2,9) จนถึงจุดที่ (2,1) ตามลำดับ ส่วนการวัดในลำดับของแถว

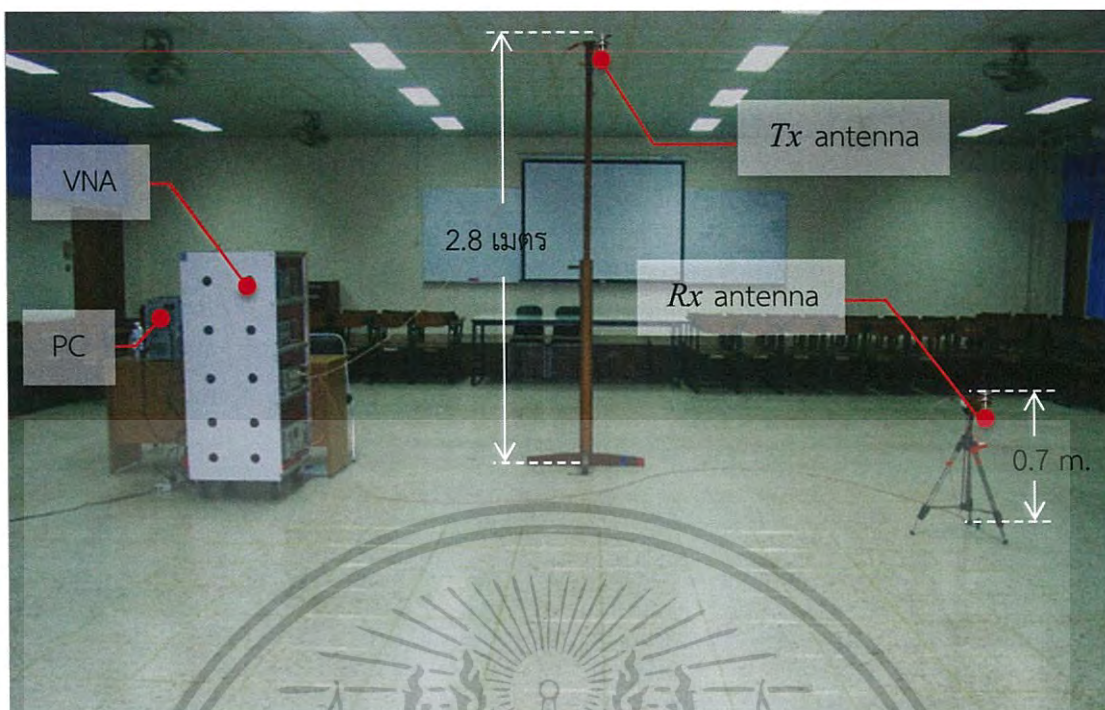
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถัดไปก็ใช้วิธีเดียวกันนี้จนครบทั้งสิ้น 121 จุด ที่จุด (11,11) จำนวนจุดวัดมีทั้งหมดจำนวน 121 จุด ระยะห่างระหว่างจุดถูกกำหนดไว้ที่ 0.40 เมตร



รูปที่ 4.5 แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณในมุมมองด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 การติดตั้งอุปกรณ์การทดลองสำหรับการวัดจริง

4.7 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงวิธีการทดลองและการวัดจริง ซึ่งอธิบายวิธีการวัด วิธีการติดตั้งรวมถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองที่ประกอบด้วยเครื่องวิเคราะห์ที่โครงข่ายแบบเวกเตอร์ สายอากาศแบบกรวยคู่ สภาวะแวดล้อมจริงในการทดลอง และนำเสนอค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับการทดลอง

บทที่ 5

ผลการทดลองวิจัยและการอภิปรายผล

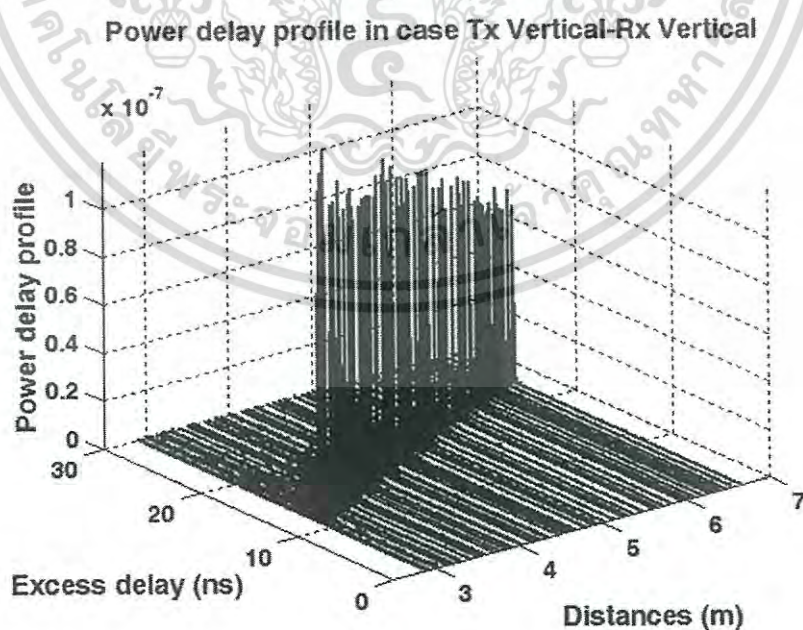
5.1 กล่าวนำ

ผลการทดสอบจากการวัดช่องสัญญาณโดยใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ทั้งภาคส่งและภาครับ ถูกแสดงไว้ในบทนี้ ประกอบด้วยการพิจารณาพารามิเตอร์การสูญเสียเชิงวิถี ภาพตัดขวางการประวิงกำลังงาน รากกำลังสองเฉลี่ยการแผ่ประวิง อัตราผิดพลาดบิต สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และอัตราสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน โดยสำหรับตอนท้ายบทจะแสดงผลการเปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถี และอัตราการผิดพลาดบิตและอัตราสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนในแต่ละโพลาริซ

5.2 ผลการทดสอบของทิศทางการโพลาริซ

5.2.1 ภาพตัดขวางการประวิงกำลังงาน

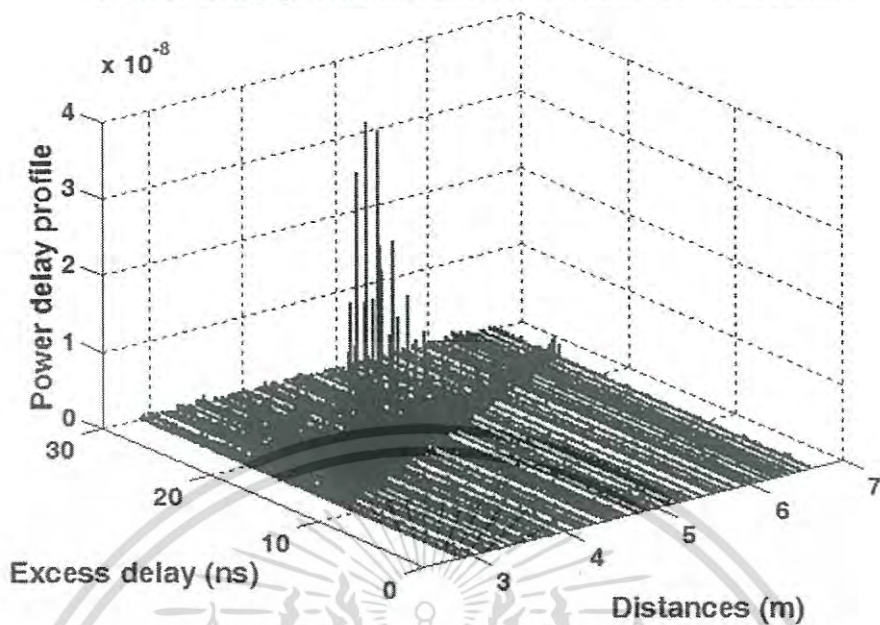
ภาพตัดขวางการประวิงกำลังงานของช่องสัญญาณวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง สำหรับวิทยานิพนธ์นี้ แสดงในรูปแบบของ 3 แกน ซึ่งประกอบไปด้วยแกนของระยะทางระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ การประวิงส่วนเกินเฉลี่ย และการประวิงกำลังอันเนื่องมาจากทิศทางการโพลาริซของสายอากาศส่งและสายอากาศรับ โดยแสดงดังรูปที่ รูปที่ 5.1 ถึง รูปที่ 5.4



รูปที่ 5.1 ภาพตัดขวางการประวิงกำลังงาน ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง

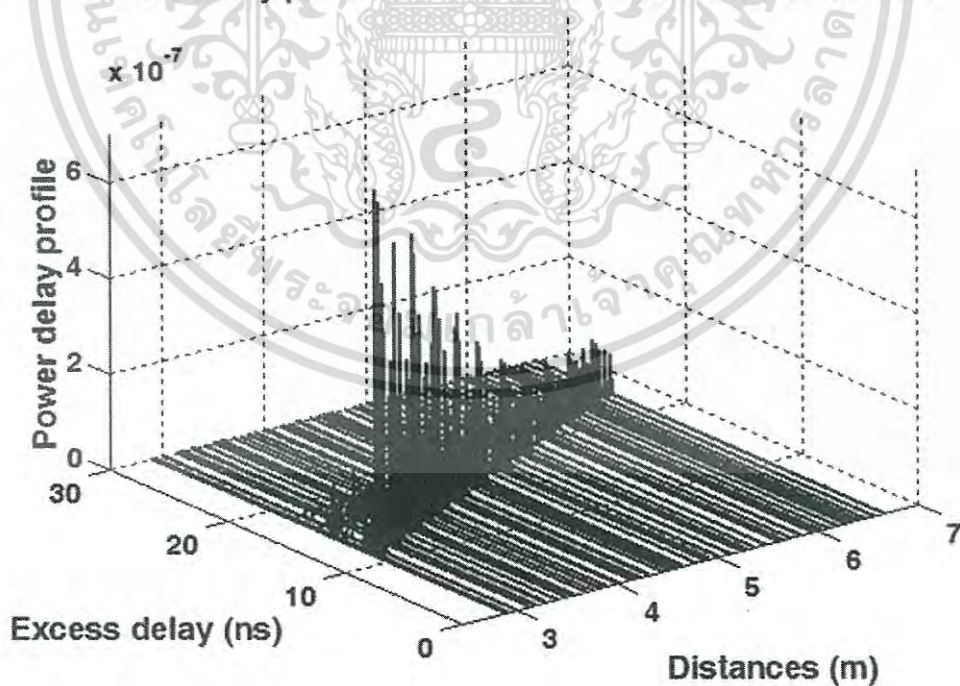
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ก่อนพิมพ์ในฉบับร่างและอาจมีข้อผิดพลาดในเนื้อหาได้ขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา
กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวตั้ง และสายอากาศรับอยู่ในแนวตั้ง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Power delay profile in case Tx Vertical-Rx Horizontal



รูปที่ 5.2 ภาพตัดขวางการประวิงกำลังงาน ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่งกรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวตั้ง และสายอากาศรับอยู่ในแนวนอน

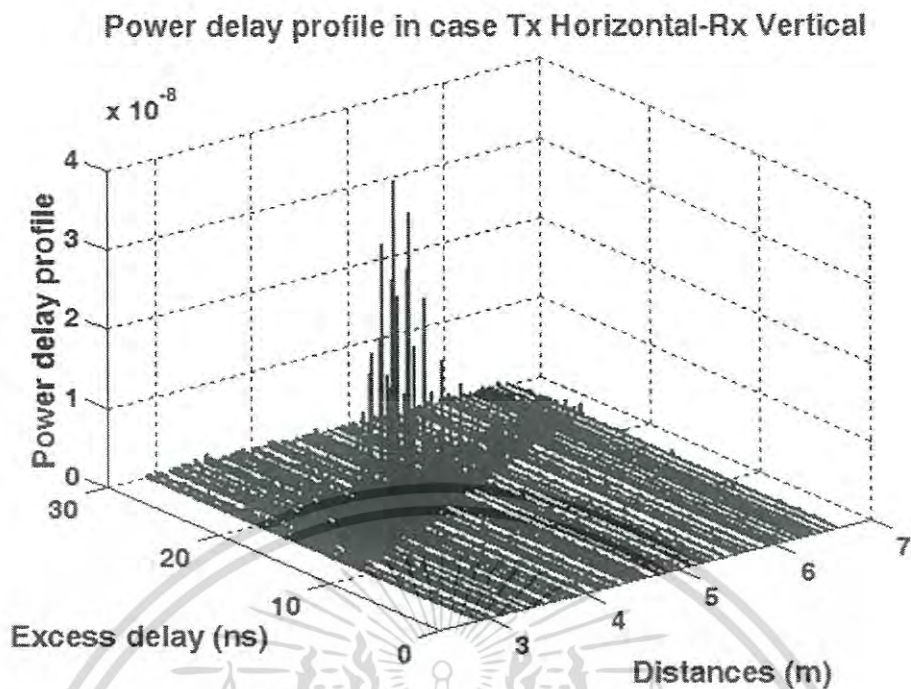
Power delay profile in case Tx Horizontal-Rx Horizontal



รูปที่ 5.3 ภาพตัดขวางการประวิงกำลังงาน ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง

กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวนอน และสายอากาศรับอยู่ในแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับกิจกรรมเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 ภาพตัดขวางการประวิงกำลังงาน ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศอากาศส่งอยู่ในแนวนอน และสายอากาศรับอยู่ในแนวตั้ง

- ภาพตัดขวางการประวิงกำลังงาน ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวตั้ง และสายอากาศรับอยู่ในแนวตั้ง

ภาพตัดขวางการประวิงกำลังงานสำหรับกรณีนี้แสดงให้เห็นดัง รูปที่ 5.1 ซึ่งเป็นการจำลองทิศทางโพลาไรซ์ของสายอากาศส่งและสายอากาศรับ กำลังสัญญาณที่รับได้จะลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างสายอากาศและเวลาการเข้าถึงเพิ่มมากขึ้น สำหรับกรณีนี้จะสังเกตได้ว่า เมื่อระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับเพิ่มขึ้น ค่าของการการประวิงกำลังงานจะลดลงไม่ค่อนมากนัก แต่ก็ยังคงลดลงเล็กน้อยตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลมาจากช่องสัญญาณหลายวิถี ทิศทางโพลาไรซ์ของสายอากาศ โดยเมื่อพิจารณาทิศทางของสายอากาศส่งและสายอากาศรับแบบทิศทางตรงแล้ว เกิดการแมตช์กันดีระหว่างสายอากาศทั้งคู่

- ภาพตัดขวางการประวิงกำลังงาน ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวตั้ง และสายอากาศรับอยู่ในแนวนอน

ภาพตัดขวางการประวิงกำลังงานสำหรับกรณีนี้แสดงให้เห็นดัง รูปที่ 5.2 ซึ่งเป็นการจำลองทิศทางโพลาไรซ์ของสายอากาศส่งและสายอากาศรับ กำลังสัญญาณที่รับได้จะลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างสายอากาศและเวลาการเข้าถึงเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากขึ้น สำหรับกรณีนี้จะสังเกตได้ว่า เมื่อระยะทางระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับเพิ่มขึ้น ค่าของการการประวิงกำลังงานจะลดลงมากขึ้นตามระยะทางที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลมาจากช่องสัญญาณหลายวิถี ที่ทำให้เกิดการจางหายของสัญญาณ และทิศทางโพลาไรซ์ของสายอากาศ โดยเมื่อพิจารณาทิศทางของสายอากาศส่งและสายอากาศรับแบบทิศทางตรงแล้ว เกิดการไม่แมตช์กันระหว่างสายอากาศทั้งคู่ โดยเฉพาะบริเวณระยะทางประมาณ 5 เมตร ถึง 6 เมตร จะมีการลดลงของกำลังงานมาก

- ภาพตัดขวางการประวิงกำลังงาน ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวนอน และสายอากาศรับอยู่ในแนวนอน

ภาพตัดขวางการประวิงกำลังงานสำหรับกรณีนี้แสดงให้เห็นดัง รูปที่ 5.3 ซึ่งเป็นการจำลองทิศทางโพลาไรซ์ของสายอากาศส่งและสายอากาศรับ กำลังสัญญาณที่รับได้จะลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างสายอากาศและเวลาการเข้าถึงเพิ่มมากขึ้น สำหรับกรณีนี้จะสังเกตได้ว่า เมื่อระยะทางระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับเพิ่มขึ้น ค่าของการการประวิงกำลังงานจะลดลงมากขึ้นตามระยะทางที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลมาจากช่องสัญญาณหลายวิถี ที่ทำให้เกิดการจางหายของสัญญาณ และทิศทางโพลาไรซ์ของสายอากาศ โดยเมื่อพิจารณาทิศทางของสายอากาศส่งและสายอากาศรับแบบทิศทางตรงแล้ว เกิดการไม่แมตช์กันระหว่างสายอากาศทั้งคู่ โดยเฉพาะบริเวณระยะทางประมาณ 5 เมตร ถึง 6 เมตร จะมีการลดลงของกำลังงานมาก แต่จะสังเกตได้ว่า ค่าของการประวิงกำลังงาน มีค่าน้อยกว่ากรณี (สายอากาศส่งอยู่ในแนวตั้ง และสายอากาศรับอยู่ในแนวนอน) และกรณี (สายอากาศส่งอยู่ในแนวนอน และสายอากาศรับอยู่ในแนวตั้ง)

- ภาพตัดขวางการประวิงกำลังงาน ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวนอน และสายอากาศรับอยู่ในแนวตั้ง

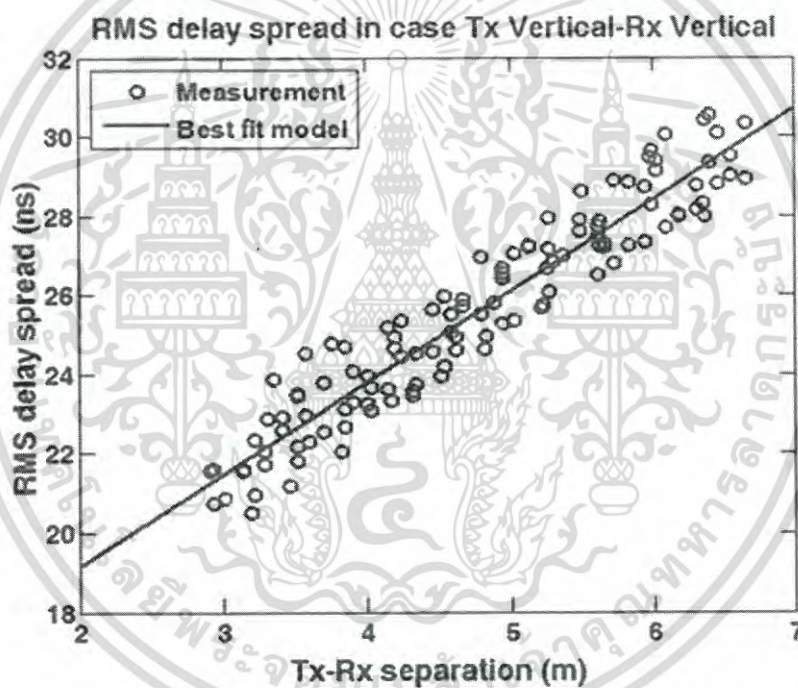
ภาพตัดขวางการประวิงกำลังงานสำหรับกรณีนี้แสดงให้เห็นดัง รูปที่ 5.4 ซึ่งเป็นการจำลองทิศทางโพลาไรซ์ของสายอากาศส่งและสายอากาศรับ กำลังสัญญาณที่รับได้จะลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างสายอากาศและเวลาการเข้าถึงเพิ่มมากขึ้น สำหรับกรณีนี้จะสังเกตได้ว่า เมื่อระยะทางระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับเพิ่มขึ้น ค่าของการการประวิงกำลังงานจะลดลงมากขึ้นตามระยะทางที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลมาจากช่องสัญญาณหลายวิถี ที่ทำให้เกิดการจางหายของสัญญาณ และทิศทางโพลาไรซ์ของสายอากาศ โดยเมื่อพิจารณาทิศทางของสายอากาศส่งและสายอากาศรับแบบทิศทางตรงแล้ว เกิดการไม่แมตช์กันระหว่างสายอากาศทั้งคู่ โดยเฉพาะบริเวณระยะทางประมาณ 5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยืมได้เห็น ใบปะติดเอกสารนี้แล้ว กรุณา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึง 6 เมตร จะมีการลดลงของกำลังงานมาก แต่จะสังเกตได้ว่า ค่าของการประวิงกำลังงาน มีค่าใกล้เคียงกับกรณี (สายอากาศส่งอยู่ในแนวตั้ง และสายอากาศรับอยู่ในแนวนอน)

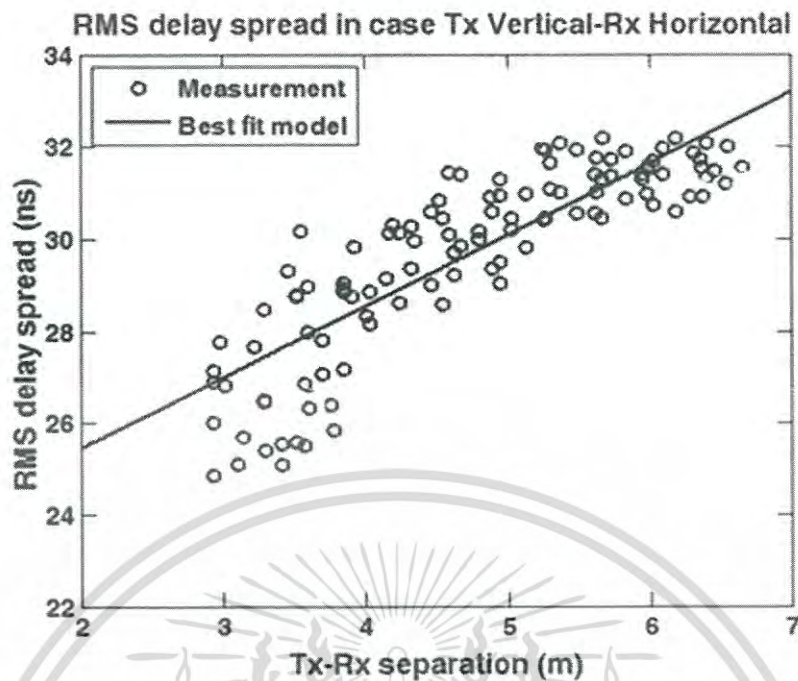
5.2.2 รากกำลังสองเฉลี่ยการแผ่ประวิง

รากกำลังสองเฉลี่ยการแผ่ประวิงของช่องสัญญาณวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่งสำหรับวิทยานิพนธ์นี้ แสดงดัง รูปที่ 5.5 ถึงรูปที่ 5.8 โดยจุดวงกลมแสดงแทนจุดที่ทำการวัด และเส้นตรงเป็นเส้นแบบจำลองที่ดีที่สุด (Best fit model) ค่าของรากกำลังสองเฉลี่ยการแผ่ประวิงจะสัมพันธ์กับระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ ซึ่งเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นค่าของรากกำลังสองเฉลี่ยการแผ่ประวิงก็จะเพิ่มขึ้นตาม

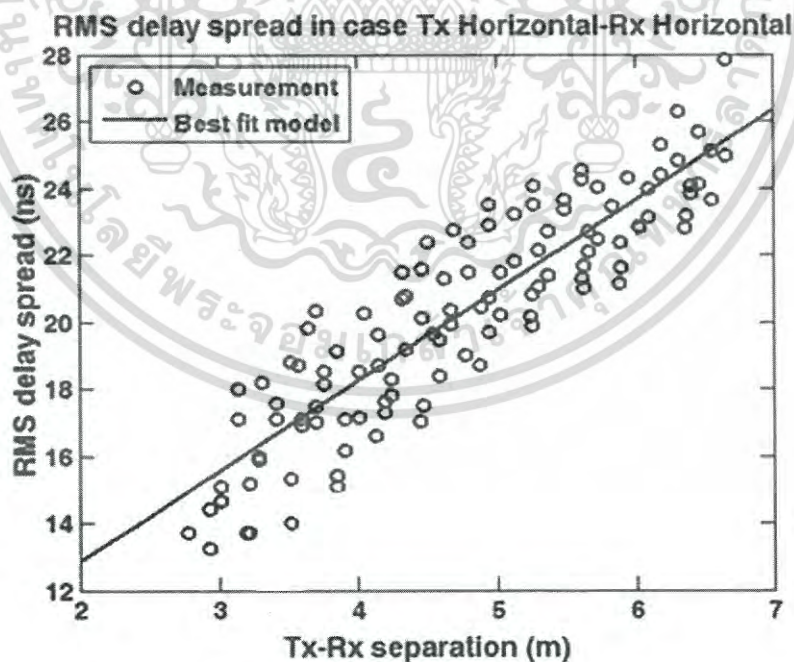


รูปที่ 5.5 รากกำลังสองเฉลี่ยการแผ่ประวิง ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวตั้ง และสายอากาศรับอยู่ในแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

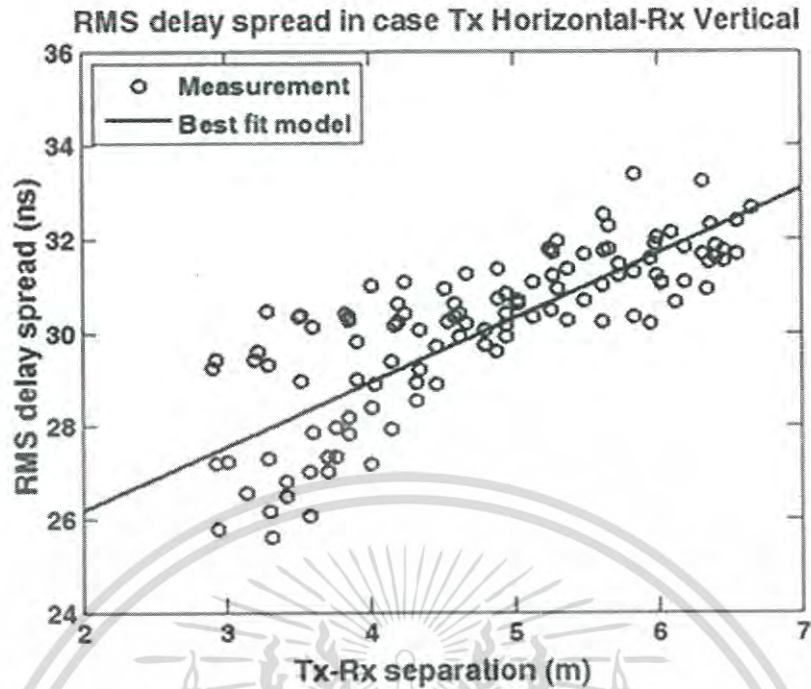


รูปที่ 5.6 รากกำลังสองเฉลี่ยการแผ่ประวิง ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวตั้ง และสายอากาศรับอยู่ในแนวนอน



รูปที่ 5.7 รากกำลังสองเฉลี่ยการแผ่ประวิง ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวนอน และสายอากาศรับอยู่ในแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 รากกำลังสองเฉลี่ยการแผ่ประวิง ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวนอน และสายอากาศรับอยู่ในแนวตั้ง

- รากกำลังสองเฉลี่ยการแผ่ประวิง ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์ แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวตั้ง และสายอากาศรับอยู่ในแนวตั้ง พารามิเตอร์รากกำลังสองเฉลี่ยการแผ่ประวิงสำหรับกรณีนี้แสดงดัง รูปที่ 5.5 โดยจะมีการประวิงของสัญญาณในแต่ละจุดการวัดที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งเป็น ผลมาจากการแมตช์กันดีของสายอากาศส่งและสายอากาศรับ
- รากกำลังสองเฉลี่ยการแผ่ประวิง ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์ แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวตั้ง และสายอากาศรับอยู่ในแนวนอน พารามิเตอร์รากกำลังสองเฉลี่ยการแผ่ประวิงสำหรับกรณีนี้แสดงดัง รูปที่ 5.6 โดยจะมีการประวิงของสัญญาณในแต่ละจุดการวัดที่มาก ซึ่งเป็นผล มาจากการไม่แมตช์กันของสายอากาศส่งและสายอากาศรับ รวมถึงช่องสัญญาณ หลายวิถีก็เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการประวิงของสัญญาณ
- รากกำลังสองเฉลี่ยการแผ่ประวิง ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์ แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวนอน และสายอากาศรับอยู่ใน แนวนอน

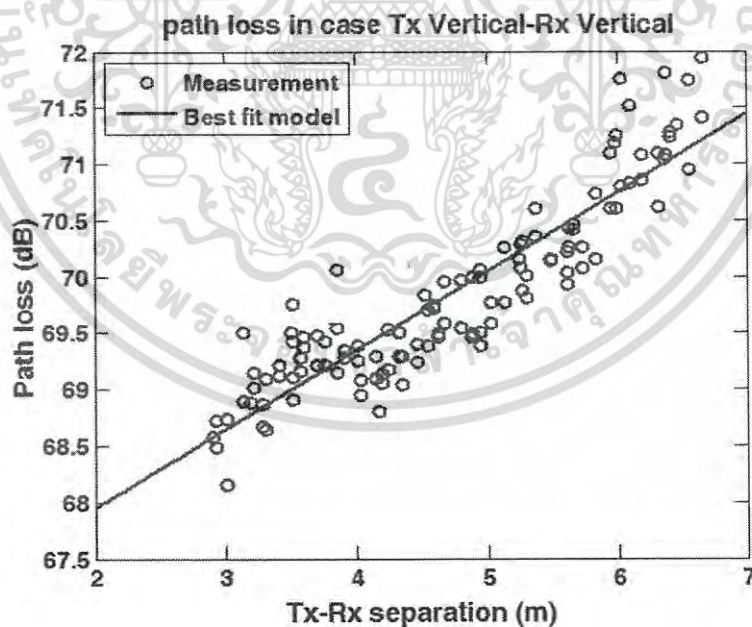
พารามิเตอร์รากกำลังสองเฉลี่ยการแผ่ประวิงสำหรับกรณีนี้แสดงดัง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ โดยจะมีการประวิงของสัญญาณในแต่ละจุดการวัดมาก เมื่อเทียบกับเส้นค่า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองที่ดีที่สุด แต่จะสังเกตได้ว่า ค่าของรอกของกำลังสองเฉลี่ย มีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับกรณีอื่น ซึ่งเป็นผลมาจากช่องสัญญาณหลายวิถี

- รอกกำลังสองเฉลี่ยการแผ่ประวิง ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์ แลกกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวนอน และสายอากาศรับอยู่ในแนวตั้ง พารามิเตอร์รอกกำลังสองเฉลี่ยการแผ่ประวิงสำหรับกรณีนี้แสดงดังรูปที่ 5.8 โดยจะมีการประวิงของสัญญาณในแต่ละจุดการวัดที่มาก ซึ่งเป็นผลมาจากการไม่แมตช์กันของสายอากาศส่งและสายอากาศรับ รวมถึงช่องสัญญาณหลายวิถีก็เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการประวิงของสัญญาณ

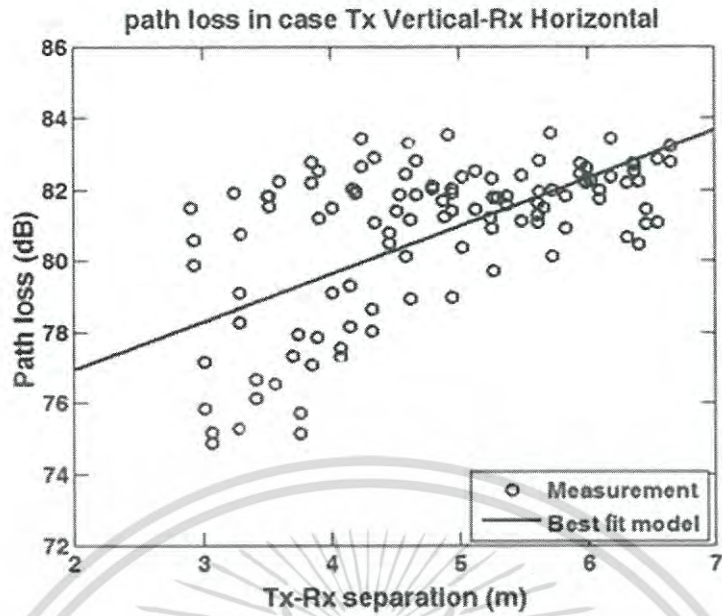
5.2.3 การสูญเสียเชิงวิถี

การสูญเสียเชิงวิถีของช่องสัญญาณวิทยุอิมพัลส์ แลกกว้างยิ่ง มีความสัมพันธ์กับระยะทางระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ โดยเมื่อสายอากาศส่งมีระยะห่างที่ไกลจากสายอากาศรับการสูญเสียเชิงวิถีจะเพิ่มมากขึ้น และผลกระทบอื่นที่อาจมาจากสถานะแวดล้อมของห้อง ตัวอย่างเช่น การสะท้อนกลับของผนัง ฝ้าเพดาน โตะเก้าอี้ มนุษย์ และวัตถุอื่น ๆ ที่อยู่ภายในห้อง ซึ่งแสดงให้เห็นดังรูปที่ รูปที่ 5.9 ถึง รูปที่ 5.12 ตามลำดับ โดยจุดวงกลมแสดงแทนจุดที่ทำการวัด และเส้นตรงเป็นเส้นแบบจำลองที่ดีที่สุด

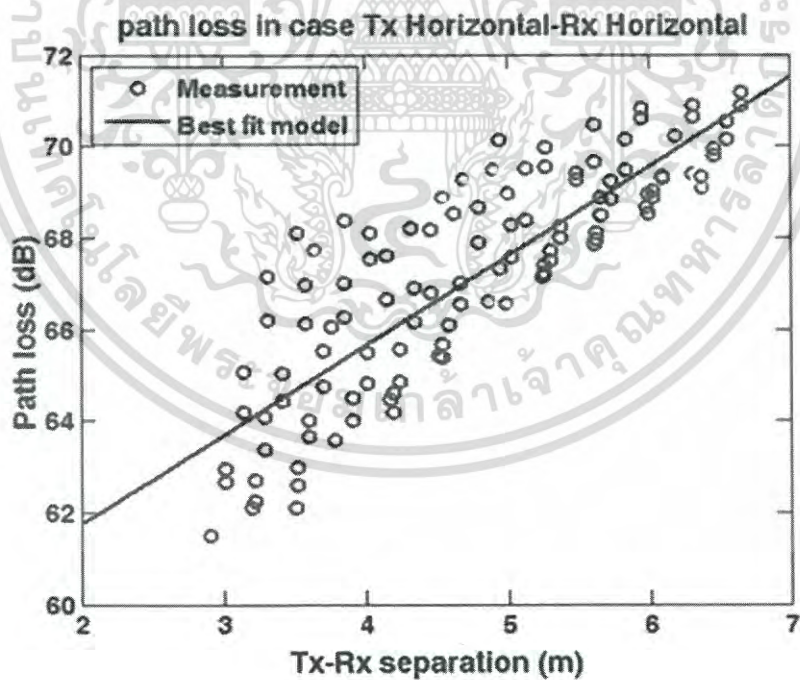


รูปที่ 5.9 การสูญเสียเชิงวิถี ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์ แลกกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวตั้ง และสายอากาศรับอยู่ในแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

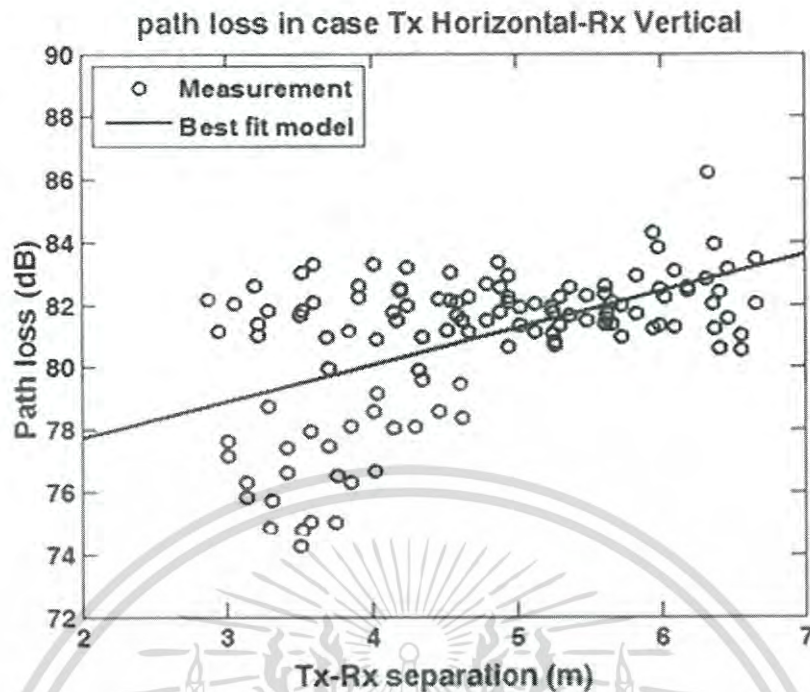


รูปที่ 5.10 การสูญเสียเชิงวิถี ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศ
ส่งอยู่ในแนวตั้ง และสายอากาศรับอยู่ในแนวนอน



รูปที่ 5.11 การสูญเสียเชิงวิถี ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศ
ส่งอยู่ในแนวนอน และสายอากาศรับอยู่ในแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.12 การสูญเสียเชิงวิถี ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวนอน และสายอากาศรับอยู่ในแนวตั้ง

- การสูญเสียเชิงวิถี ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวตั้ง และสายอากาศรับอยู่ในแนวตั้ง

การสูญเสียเชิงวิถีกรณีนี้แสดงดัง รูปที่ 5.9 จะเห็นได้ว่ามีความเพี้ยนของกำลังงานในแต่ละจุดการวัดที่ต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับกรณีการสูญเสียเชิงวิถีอื่นเป็นผลอันเนื่องมาจากการแมตซ์ที่ดีระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ แต่อย่างไรก็ตามการสูญเสียเชิงวิถีในกรณีนี้ มีการสูญเสียที่มากกว่ากรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวนอน และสายอากาศรับอยู่ในแนวนอน เพราะกรณีนี้เกิดการแมตซ์ระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับที่ต่ำกว่า

- การสูญเสียเชิงวิถี ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวตั้ง และสายอากาศรับอยู่ในแนวนอน

การสูญเสียเชิงวิถีกรณีนี้แสดงดัง รูปที่ 5.10 จะเห็นได้ว่าที่ระยะทางประมาณ 2.90 เมตร ถึงประมาณ 4.50 เมตร มีการสูญเสียเชิงวิถี และความเพี้ยนของกำลังงานในแต่ละจุดการวัดที่สูงกว่าที่ระยะประมาณ 5.00 เมตร ถึงประมาณ 6.60 เมตร เป็นผลอันเนื่องมาจากแมตซ์ของสายอากาศส่งและสายอากาศรับที่ไม่ดี

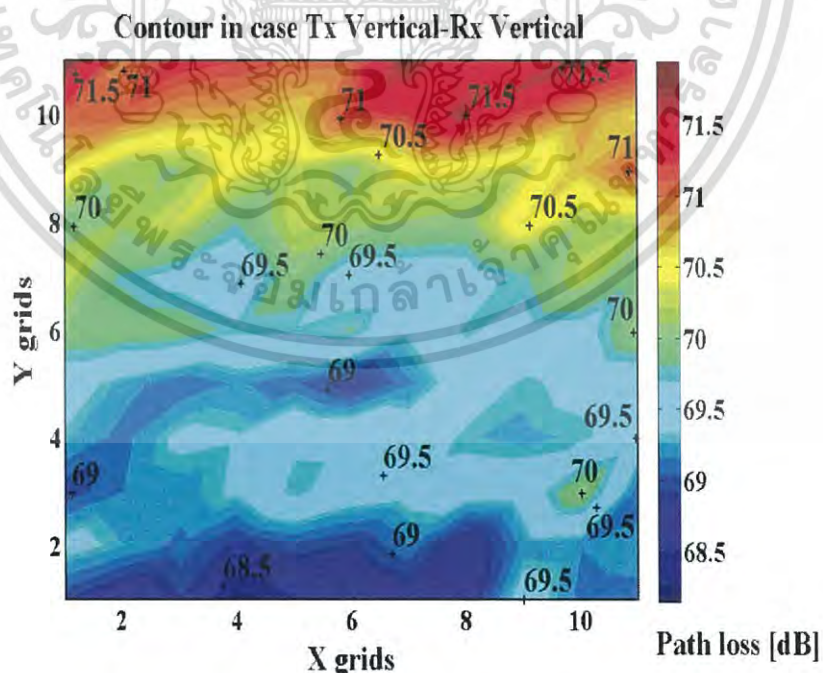
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การสูญเสียเชิงวิถี ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวนอน และสายอากาศรับอยู่ในแนวนอน

การสูญเสียเชิงวิถีกรณีนี้แสดงดัง รูปที่ 5.11 จะเห็นได้ว่ามีความเพี้ยนของกำลังงานในแต่ละจุดการวัดที่สูงในช่วงระยะทางประมาณ 2.90 เมตร ถึงระยะทางประมาณ 5.00 เมตร เป็นผลอันเนื่องมาจากช่องสัญญาณหลายวิถี ที่อาจเกิดการสะท้อนของคลื่นไปยังพื้นห้อง ฝ้าเพดาน และผนังห้อง แต่อย่างไรก็ตามการสูญเสียเชิงวิถีในกรณีนี้ มีการสูญเสียที่น้อยที่สุด ซึ่งเกิดจากการแมตซ์ระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับที่ดีกว่ากรณีอื่น อันเนื่องมาจากรูปแบบการแพร่กระจายของสายอากาศ โดยที่ความสูงของสายอากาศส่งและสายอากาศรับมีผลไม่มากนัก

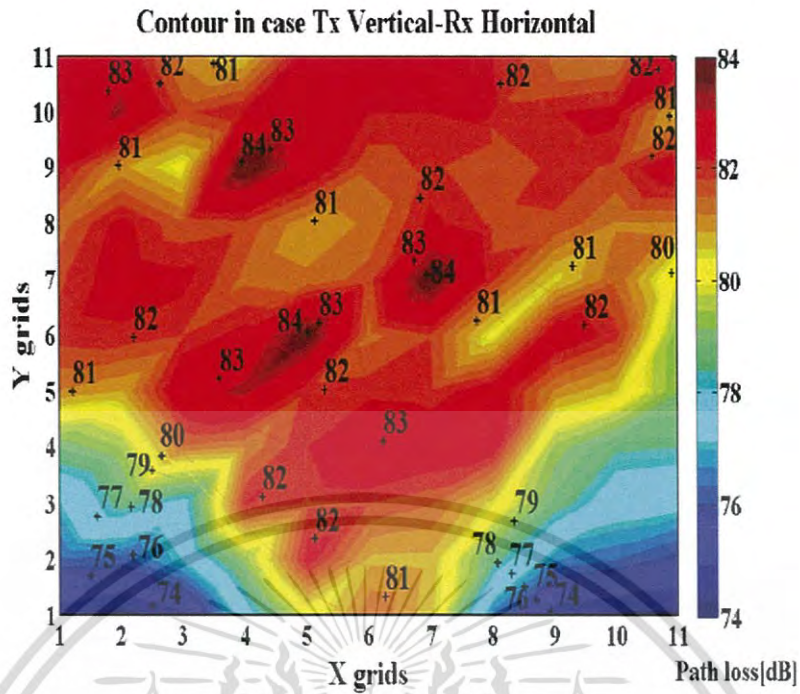
- การสูญเสียเชิงวิถี ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวนอน และสายอากาศรับอยู่ในแนวตั้ง

การสูญเสียเชิงวิถีกรณีนี้แสดงดัง รูปที่ 5.12 จะเห็นได้ว่าที่ระยะทางประมาณ 2.90 เมตรถึงประมาณ 4.50 เมตร มีการสูญเสียเชิงวิถี และความเพี้ยนของกำลังงานในแต่ละจุดการวัดที่สูงกว่าที่ระยะประมาณ 5.00 เมตร ถึงประมาณ 6.60 เมตร เป็นผลอันเนื่องมาจากแมตซ์ของสายอากาศส่งและสายอากาศรับที่ไม่ดี โดยมีลักษณะการสูญเสียของช่องสัญญาณที่ใกล้เคียงกับกรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวเป็นแนวตั้ง และสายอากาศรับอยู่ในแนวเป็นแนวนอน

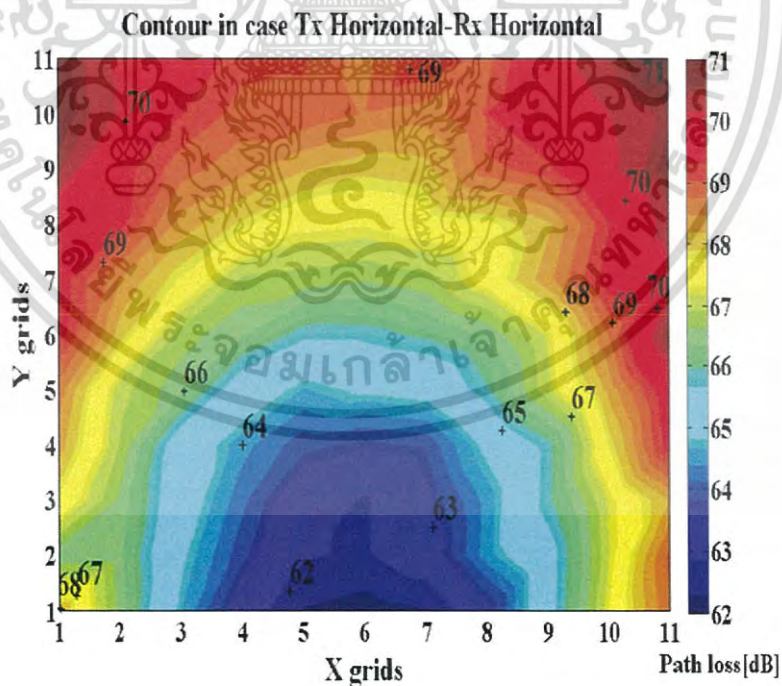


รูปที่ 5.13 ความหนาแน่นกำลังของการสูญเสียเชิงวิถี ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบ

กว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวตั้ง และสายอากาศรับอยู่ในแนวตั้ง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสาร หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสาร กรุณาแจ้งให้ทราบเพื่อปรับปรุงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

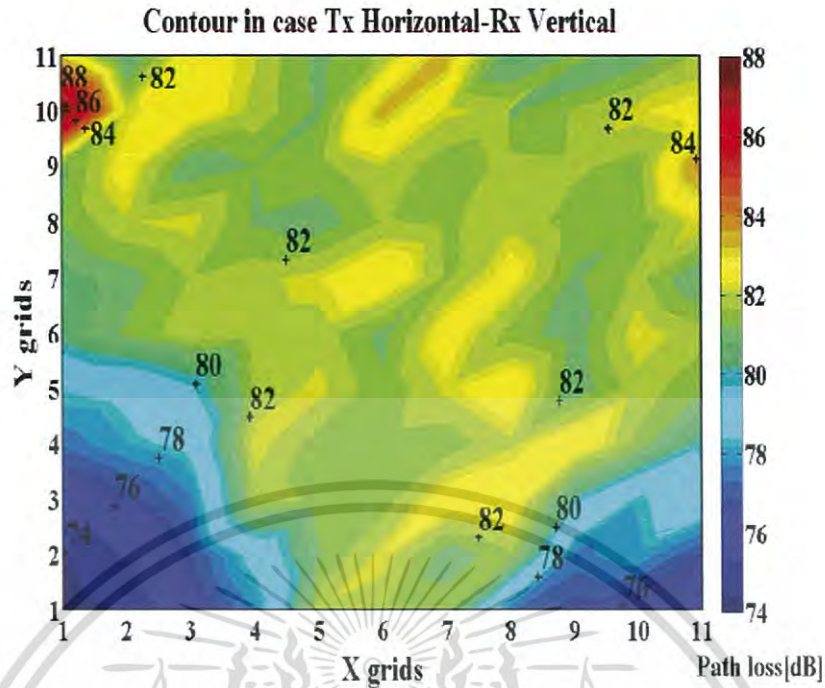


รูปที่ 5.14 ความหนาแน่นกำลังของการสูญเสียเชิงวิถีของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวตั้ง และสายอากาศรับอยู่ในแนวนอน



รูปที่ 5.15 ความหนาแน่นกำลังของการสูญเสียเชิงวิถี ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวนอน และสายอากาศรับอยู่ในแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.16 ความหนาแน่นกำลังของการสูญเสียเชิงวิถี ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวนอน และสายอากาศรับอยู่ในแนวตั้ง

- ความหนาแน่นกำลังของการสูญเสียเชิงวิถี ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวตั้ง และสายอากาศรับอยู่ในแนวตั้ง

ความหนาแน่นกำลังของการสูญเสียเชิงวิถีกรณีนี้แสดงดัง รูปที่ 5.13 จะเห็นได้มีคุณลักษณะของการสูญเสียเชิงวิถีในแต่ละจุดวัดตรงตามทฤษฎี คือ การสูญเสียเชิงวิถีจะเพิ่มมากขึ้นตามระยะทางของสายอากาศส่งและสายอากาศรับที่เพิ่มมากขึ้น แต่จะมีคุณลักษณะพิเศษบริเวณจุดการวัดประมาณจุดที่ (5,6) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อยู่บริเวณใกล้จุดศูนย์กลางของจุดการวัดทั้งหมด โดยบริเวณจุดนี้มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีที่น้อย โดยอาจมีการแพร่กระจายของคลื่นไปยังพื้น ฝ้า เพดาน และผนังห้องผนัง ส่งผลให้เกิดการแทรกสอดของสัญญาณที่เสริมกันบริเวณจุดนี้

- ความหนาแน่นกำลังของการสูญเสียเชิงวิถี กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวตั้ง และสายอากาศรับอยู่ในแนวนอน

ความหนาแน่นกำลังของการสูญเสียเชิงวิถีกรณีนี้แสดงดัง รูปที่ 5.14 จะเห็นได้ว่าบริเวณพื้นที่ส่วนกลางของจุดการวัดมีการสูญเสียเชิงวิถีเกิดขึ้นมาก

อันเนื่องมาจากกรณีไม่แมตซ์กันของสายอากาศบริเวณดังกล่าว แต่บริเวณจุดวัดมุมเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมืออนุญาตให้นำไปเผยแพร่ชนดานการค้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางด้านข้าง (1,1) และ (1,11) มีการสูญเสียเชิงวิถีที่น้อย อาจเกิดขึ้นจากการแพร่กระจายของคลื่นไปยังพื้น ฝ้าเพดาน และผนังห้องผนัง ส่งผลให้เกิดการแทรกสอดของสัญญาณที่เสริมกันบริเวณจุดนี้

- ความหนาแน่นกำลังของการสูญเสียเชิงวิถี ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุ อิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวนอน และสายอากาศรับอยู่ในแนวนอน

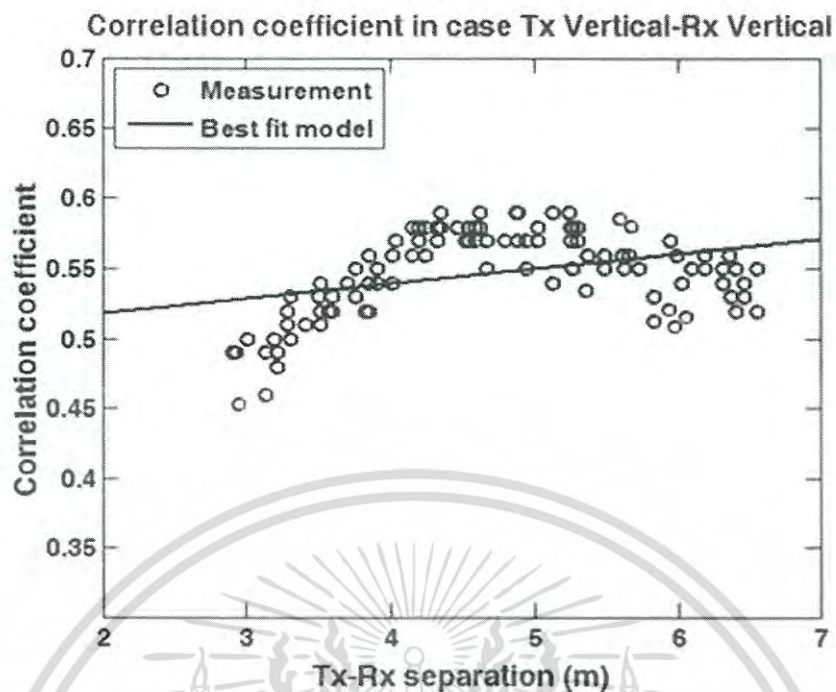
ความหนาแน่นกำลังของการสูญเสียเชิงวิถีกรณีนี้แสดงดัง รูปที่ 5.15 จะเห็นได้ว่าบริเวณจุด (1,6) ที่อยู่ส่วนกลางของจุดการวัดมีการสูญเสียเชิงวิถีเกิดขึ้นน้อย อันเนื่องมาจากการแมตช์กันของสายอากาศบริเวณดังกล่าว และจะมีการสูญเสียที่เพิ่มมากขึ้นตามระยะห่างของสายอากาศส่งและสายอากาศรับที่เพิ่มขึ้น

- ความหนาแน่นกำลังของการสูญเสียเชิงวิถี ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุ อิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวนอน และสายอากาศรับอยู่ในแนวตั้ง

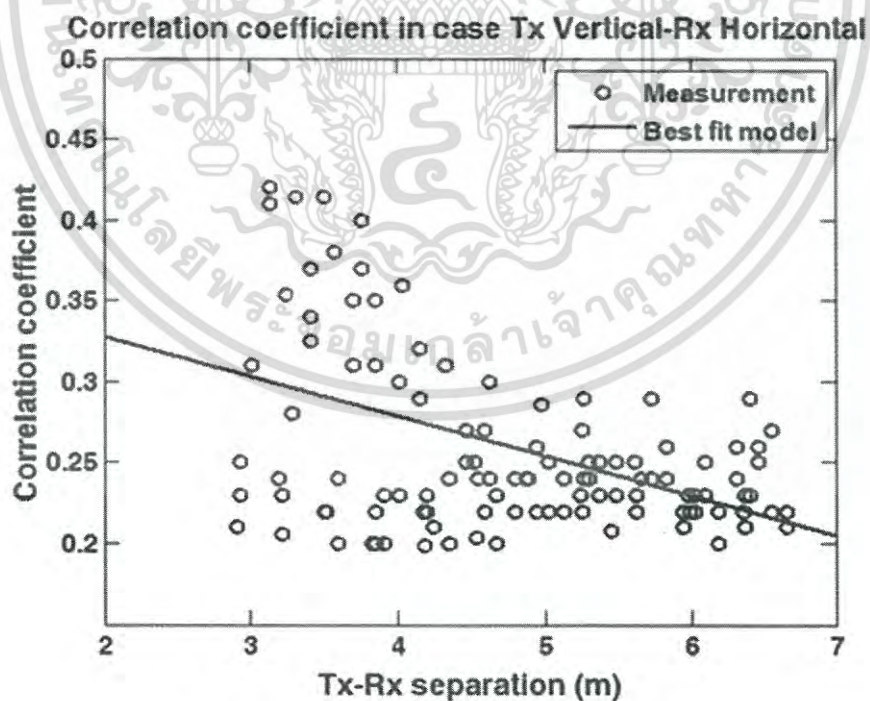
ความหนาแน่นกำลังของการสูญเสียเชิงวิถีกรณีนี้แสดงดัง รูปที่ 5.16 จะเห็นได้ว่าบริเวณพื้นที่ส่วนกลางของจุดการวัดมีการสูญเสียเชิงวิถีเกิดขึ้นมาก อันเนื่องมาจากการไม่แมตช์กันของสายอากาศบริเวณดังกล่าว แต่บริเวณจุดวัดมุมทางด้านข้าง (1,1) และ (1,11) มีการสูญเสียเชิงวิถีที่น้อย อาจเกิดขึ้นจากการแพร่กระจายของคลื่นไปยังพื้น ฝ้าเพดาน และผนังห้องผนัง ส่งผลให้เกิดการแทรกสอดของสัญญาณที่เสริมกันบริเวณจุดนี้

5.2.4 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

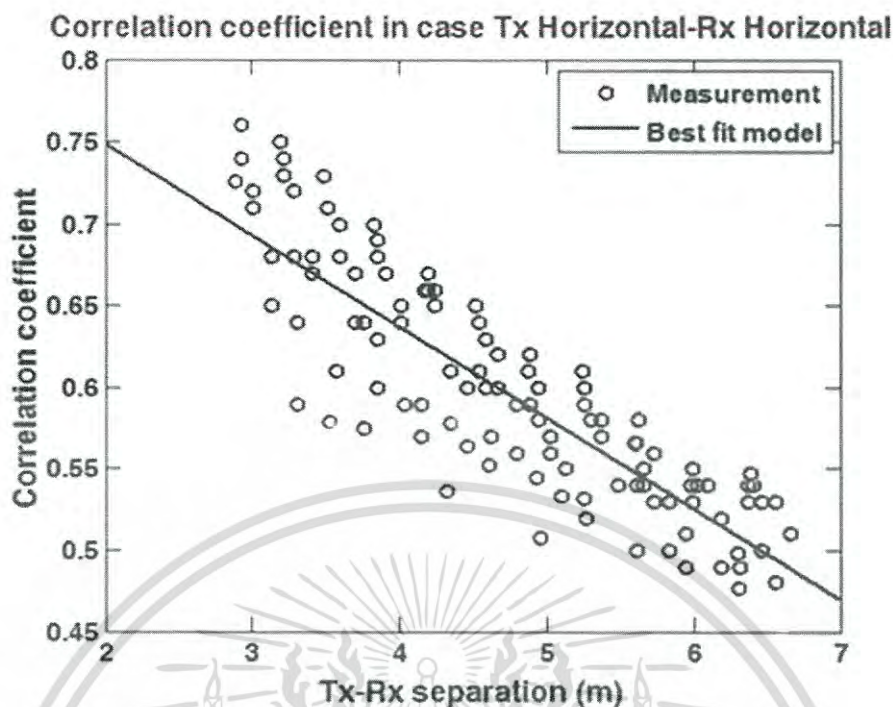
สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็นการแสดงการผิดเพี้ยนของสัญญาณรูปคลื่นระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับสัญญาณภายในระยะห่าง 2.90 เมตร ถึง 6.66 เมตร เมื่อสายอากาศส่งมีระยะห่างที่ไกลจากสายอากาศรับจะมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ลดลง โดยงานวิทยานิพนธ์นี้แสดงค่าสัมประสิทธิ์จากการจัดวางตำแหน่งของสายอากาศส่งและสายอากาศรับที่มีรูปแบบแตกต่างกัน โดยมีผลแสดงดังรูปที่ รูปที่ 5.17 ถึง รูปที่ 5.20 ซึ่งจุดวงกลมแสดงแทนจุดที่ทำการวัด และเส้นตรงเป็นเส้นแบบจำลองที่ดีที่สุด



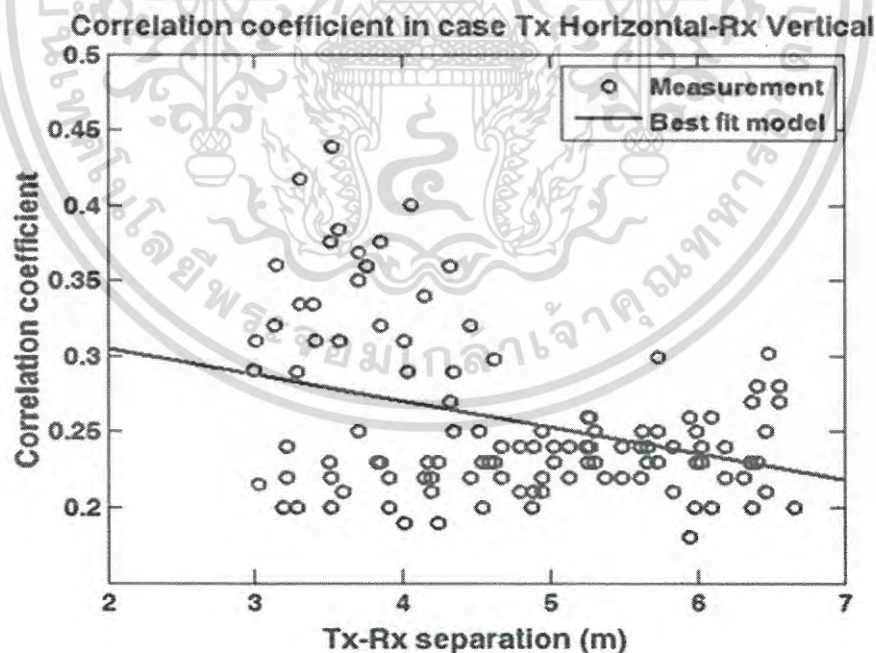
รูปที่ 5.17 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณี สายอากาศส่งอยู่ในแนวตั้ง และสายอากาศรับอยู่ในแนวตั้ง



รูปที่ 5.18 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณี สายอากาศส่งอยู่ในแนวตั้ง และสายอากาศรับอยู่ในแนวนอน
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.19 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวนอน และสายอากาศรับอยู่ในแนวนอน



รูปที่ 5.20 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวนอน และสายอากาศรับอยู่ในแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง
กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวตั้ง และสายอากาศรับอยู่ในแนวตั้ง

สำหรับในกรณีนี้จะเห็นได้ว่า เมื่อสายอากาศส่งใกล้สายอากาศรับค่าของ
สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ยังคงมีลักษณะใกล้เคียงกับกรณีที่ระยะทางเพิ่มขึ้น ซึ่งหาก
พิจารณาแล้วความเพี้ยนของแต่ละจุดการวัดไม่แตกต่างกันมากนัก ผลกระทบจาก
กรณีนี้อาจจะมาจากการโพลาไรซ์ของสายอากาศและสภาวะแวดล้อมภายในห้อง
เช่น การสะท้อนกลับของผนัง ฝ้า โต๊ะเก้าอี้ มนุษย์ และวัตถุอื่น ๆ ภายในห้อง
สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการโพลาไรซ์แสดงนี้ ได้ดัง รูปที่ 5.17

- สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง
กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวตั้ง และสายอากาศรับอยู่ในแนวนอน

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในกรณีนี้แสดงดัง รูปที่ 5.18 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์
ระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ โดยเมื่อสายอากาศส่งมีระยะห่างที่ไกล
จากสายอากาศรับสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะลดลง จะเห็นได้ว่าที่ระยะทาง
ประมาณ 2.90 เมตร ถึงประมาณ 4.00 เมตร มีความผิดเพี้ยนของกลุ่มจุดการวัด
เมื่อเทียบกับเส้นแบบจำลองการวัดสูงมาก เนื่องจากสายอากาศส่งและสายอากาศ
รับเกิดการไม่แมตช์กันเกิดขึ้น

- สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง
กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวนอน และสายอากาศรับอยู่ในแนวนอน

สำหรับในกรณีนี้จะเห็นได้ว่า เมื่อสายอากาศส่งใกล้สายอากาศรับค่าของ
สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะลดลงตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น ซึ่งหากพิจารณาแล้วความ
เพี้ยนของแต่ละจุดการวัดไม่แตกต่างกันมากนัก ผลกระทบจากกรณีนี้อาจจะมา
จากการโพลาไรซ์ของสายอากาศและสภาวะแวดล้อมภายในห้อง เช่น การสะท้อน
กลับของผนัง ฝ้า โต๊ะเก้าอี้ มนุษย์ และวัตถุอื่น ๆ ภายในห้อง สัมประสิทธิ์
สหสัมพันธ์ของการโพลาไรซ์แสดงนี้ ได้ดัง รูปที่ 5.19

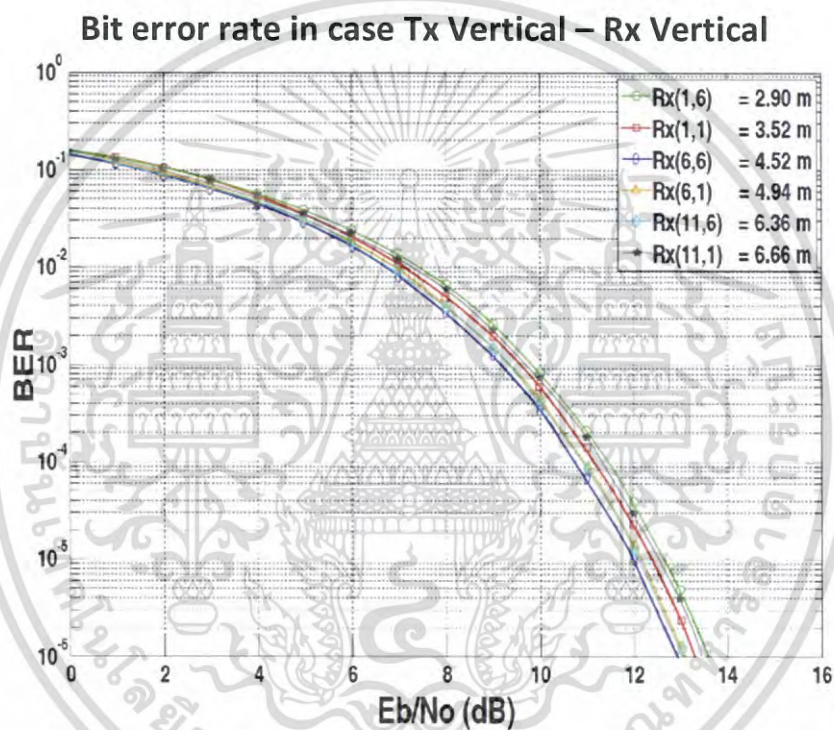
- สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง
กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวนอน และสายอากาศรับอยู่ในแนวตั้ง

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในกรณีนี้แสดงดัง รูปที่ 5.20 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์
ระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ โดยเมื่อสายอากาศส่งมีระยะห่างที่ไกล
จากสายอากาศรับสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะลดลง จะเห็นได้ว่าที่ระยะทาง
ประมาณ 2.90 เมตร ถึงประมาณ 4.00 เมตร มีความผิดเพี้ยนของกลุ่มจุดการวัด
เมื่อเทียบกับเส้นแบบจำลองการวัดสูงมาก เนื่องจากสายอากาศส่งและสายอากาศ
รับเกิดการไม่แมตช์กันเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

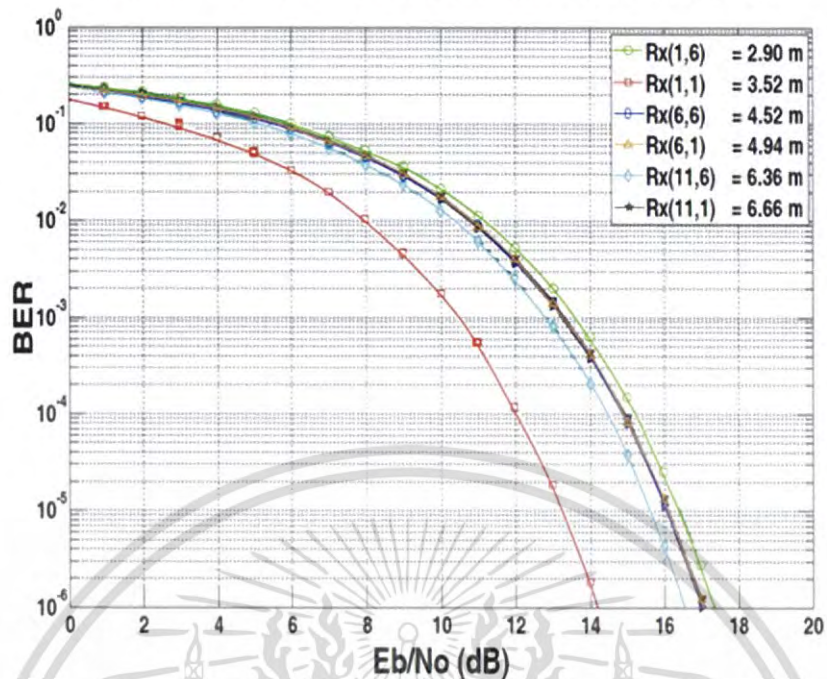
5.2.5 อัตราการผิดพลาดบิต

อัตราการผิดพลาดบิตสำหรับงานวิทยานิพนธ์นี้ พิจารณาจากตำแหน่งของสายอากาศรับที่จุด (1,1) (1,6) (6,1) (6,6) (11,1) และ (11,6) ตามแบบจำลองการวัด ซึ่งจุดที่ได้กำหนดขึ้นถูกสมมติให้เป็นตัวแทนของกลุ่มการวัดในพื้นที่บริเวณนั้น โดยเป็นการสังเกตประสิทธิภาพของช่องสัญญาณ ในกรณีการจัดรูปแบบการวัดให้มีทิศทางโพลารไรซ์ตามรูปแบบที่กำหนดไว้ในบทที่ 4 ค่าของอัตราผิดพลาดบิตที่เกิดขึ้นไม่ได้เป็นผลมากระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ แต่มาจากทิศทางการโพลารไรซ์ของสายอากาศ และสภาวะแวดล้อมของห้อง ซึ่งอัตราผิดพลาดบิตในแต่ละรูปแบบของการจัดทิศทางสายอากาศแสดงดัง รูปที่ 5.21 ถึง รูปที่ 5.24



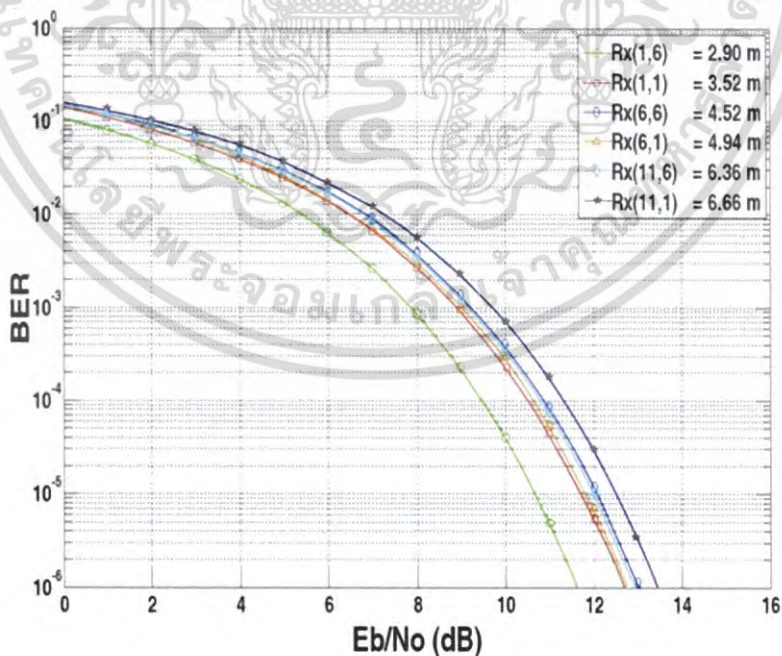
รูปที่ 5.21 อัตราผิดพลาดบิต ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวตั้ง และสายอากาศรับอยู่ในแนวตั้ง

Bit error rate in case Tx Vertical – Rx Horizontal



รูปที่ 5.22 อัตราผิดพลาดบิต ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวตั้ง และสายอากาศรับอยู่ในแนวนอน

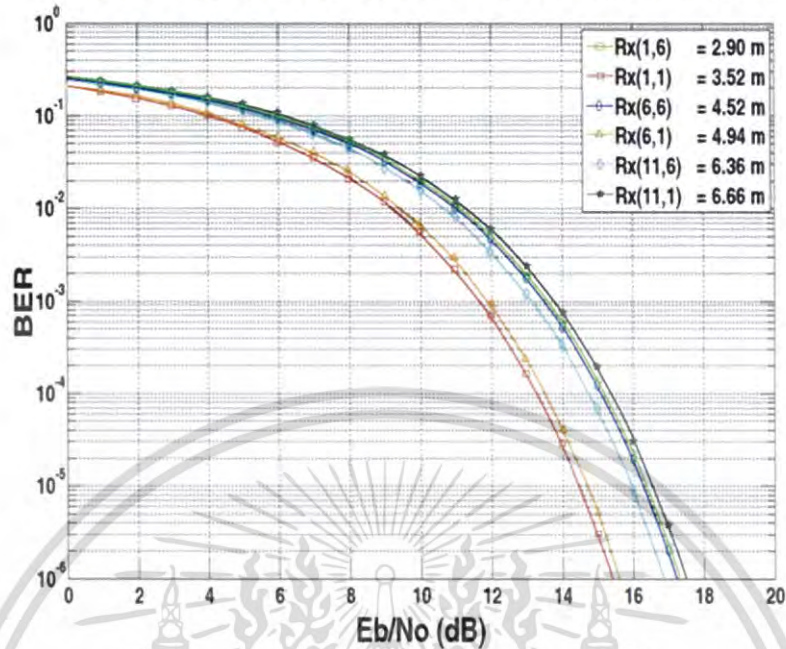
Bit error rate in case Tx Horizontal – Rx Horizontal



รูปที่ 5.23 อัตราผิดพลาดบิต ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวนอน และสายอากาศรับอยู่ในแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bit error rate in case Tx Horizontal – Rx Vertical



รูปที่ 5.24 อัตราผิดพลาดบิต ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวนอน และสายอากาศรับอยู่ในแนวตั้ง

- อัตราผิดพลาดบิต ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวตั้ง และสายอากาศรับอยู่ในแนวตั้ง

อัตราผิดพลาดบิตกรณีนี้จะเห็นได้ว่ากลุ่มของจุดวัดมีลักษณะเป็นในทิศทางเดียวกัน คือมีอัตราผิดพลาดบิตและอัตราพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวนต่ำกว่ากรณีอื่น เนื่องจากสายอากาศเกิดการแมตซ์ดีที่สุดกว่าทุกกรณี ซึ่งแสดงให้เห็นดังรูปที่ 5.21

- อัตราผิดพลาดบิต ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวตั้ง และสายอากาศรับอยู่ในแนวนอน

อัตราผิดพลาดบิตในกรณีนี้จะเห็นได้ว่าบริเวณจุด (1,1) มีประสิทธิภาพดีที่สุดในจำนวนกลุ่มตัวอย่างของการวัด โดยอัตราผิดพลาดบิตและอัตราพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวนต่ำกว่ากรณีอื่น เนื่องจากทิศทางการโพลาไรซ์ของสายอากาศและสภาวะแวดล้อมภายในห้อง เช่น การสะท้อนกลับของผนัง ฝ้า โตะเก้าอี้ มนุษย์ และวัตถุอื่น ๆ ภายในห้อง มีผลต่อสัญญาณรบกวนของระบบที่จุดอื่น ๆ มากกว่า และบริเวณดังกล่าวเกิดการแมตซ์กันของสายอากาศส่งและสายอากาศรับได้ดี แสดงให้เห็นดัง รูปที่ 5.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อัตราผิดพลาดบิต ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวนอน และสายอากาศรับอยู่ในแนวนอน

อัตราผิดพลาดบิตในกรณีนี้จะเห็นได้ว่าบริเวณจุด (1,6) มีประสิทธิภาพดีที่สุดในจำนวนกลุ่มตัวอย่างของการวัด โดยอัตราผิดพลาดบิตและอัตราพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวนต่ำกว่ากรณีอื่น เนื่องจากทิศทางโพลาไรซ์ของสายอากาศและสถานะแวดล้อมภายในห้อง เช่น การสะท้อนกลับของผนัง ฝ้า โตะเก้าอี้ มนุษย์ และวัตถุอื่น ๆ ภายในห้อง มีผลต่อสัญญาณรบกวนของระบบที่จุดอื่น ๆ มากกว่า และบริเวณดังกล่าวเกิดการแมตซ์กันของสายอากาศส่งและสายอากาศรับได้ดีแสดงให้เห็นดัง รูปที่ 5.23

- อัตราผิดพลาดบิต ของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวนอน และสายอากาศรับอยู่ในแนวตั้ง

อัตราผิดพลาดบิตในกรณีนี้จะเห็นได้ว่าบริเวณจุด (1,1) และ 6,1) มีประสิทธิภาพดีที่สุดในจำนวนกลุ่มตัวอย่างของการวัด แต่บริเวณจุด (1,1) จะมีอัตราผิดพลาดบิตและอัตราพลังงานบิตต่อสัญญาณรบกวนต่ำกว่า เนื่องจากทิศทางโพลาไรซ์ของสายอากาศและสถานะแวดล้อมภายในห้อง เช่น การสะท้อนกลับของผนัง ฝ้า โตะเก้าอี้ มนุษย์ และวัตถุอื่น ๆ ภายในห้อง มีผลต่อสัญญาณรบกวนของระบบที่จุดอื่น ๆ มากกว่า และบริเวณดังกล่าวเกิดการแมตซ์กันของสายอากาศส่งและสายอากาศรับได้ดี แสดงให้เห็นดัง รูปที่ 5.24

5.3 การเปรียบเทียบความแตกต่างของการจัดวางสายอากาศทั้ง 4 รูปแบบ

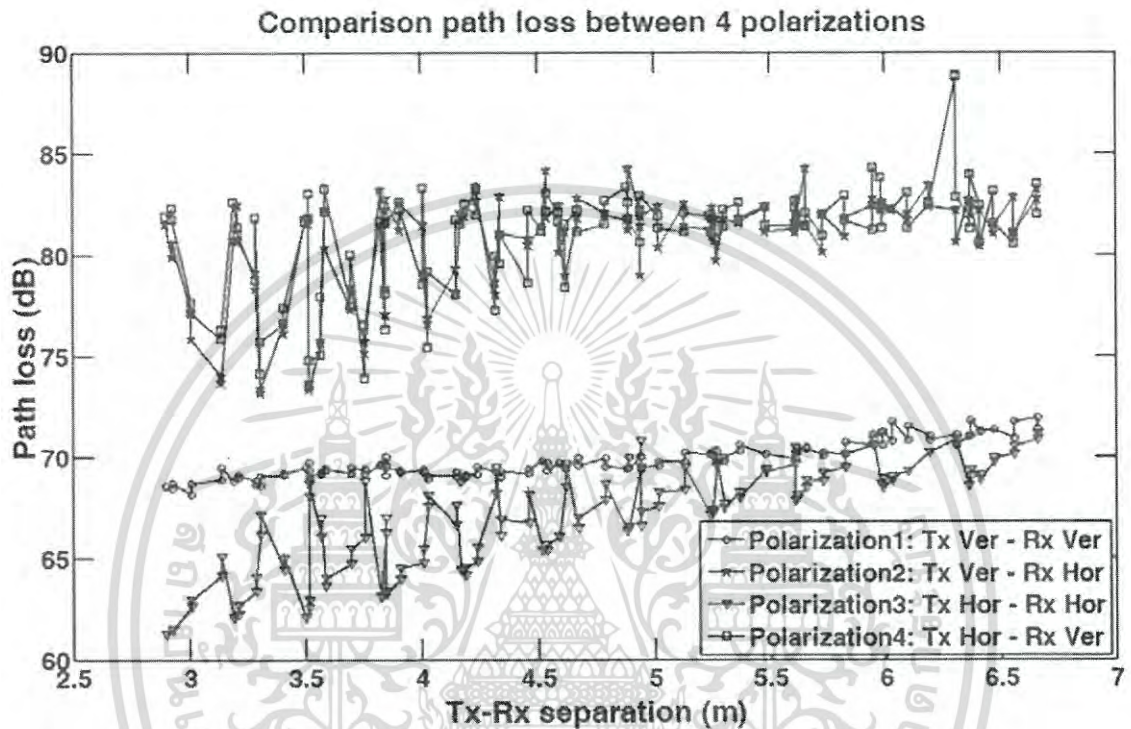
5.3.1 การเปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss comparison)

การสูญเสียเชิงวิถีที่ทั้งสี่โพลาไรซ์แสดงได้ดังรูปที่ 5.25 จากรูปสามารถแบ่งกลุ่มของการโพลาไรซ์ออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

- กลุ่ม 1 มีลักษณะทิศทางของการโพลาไรซ์ร่วม แบ่งเป็น 2 กรณี ได้แก่
 - กรณีสายอากาศส่งและสายอากาศรับอยู่ในแนวตั้ง
 - กรณีสายอากาศส่งและสายอากาศรับอยู่ในแนวนอน
 ทั้งสองกรณีเกิดการสูญเสียเชิงวิถีที่น้อย โดยจะมีลักษณะการสูญเสียเชิงวิถีใกล้เคียงกันมาก แต่กรณีสายอากาศส่งและสายอากาศรับอยู่ในแนวนอน จะมีการประวิงของการสูญเสียแต่จะจุดการวัดที่มากกว่า เนื่องจากการแมตซ์ของสายอากาศส่งและสายอากาศรับแต่ละจุดแตกต่างกัน
- กลุ่ม 2 มีลักษณะทิศทางโพลาไรซ์ที่หลากหลาย แบ่งเป็น 2 กรณี ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวตั้ง และสายอากาศรับอยู่ในแนวนอน การนำเอกสารนี้ไปใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวนอน และสายอากาศรับอยู่ในแนวตั้ง
ทั้งสองกรณีเกิดการสูญเสียเชิงวิถีที่มากกว่ากลุ่ม 1 เนื่องจากสายอากาศ
ส่งและสายอากาศรับมีการจัดงานทิศทางการโพลาริซที่ต่างขั้ว จึงทำให้การแมตซ์
ของสายอากาศส่งและสายอากาศรับแต่ละจุดไม่ดี

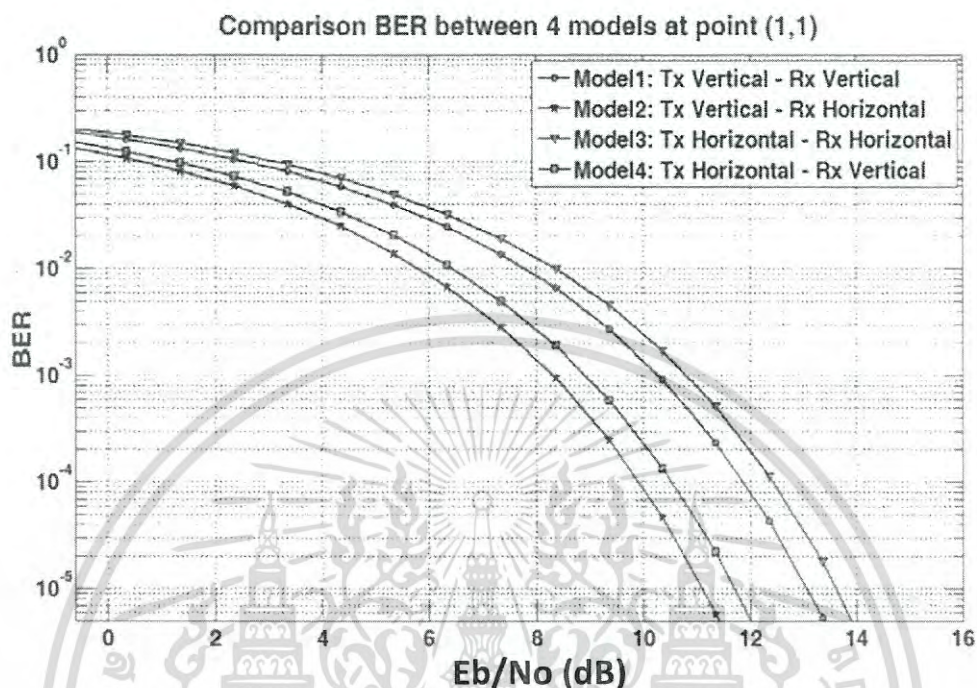


รูปที่ 5.25 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีระหว่างทิศทางการจัดวางสายอากาศทั้ง 4 แบบ

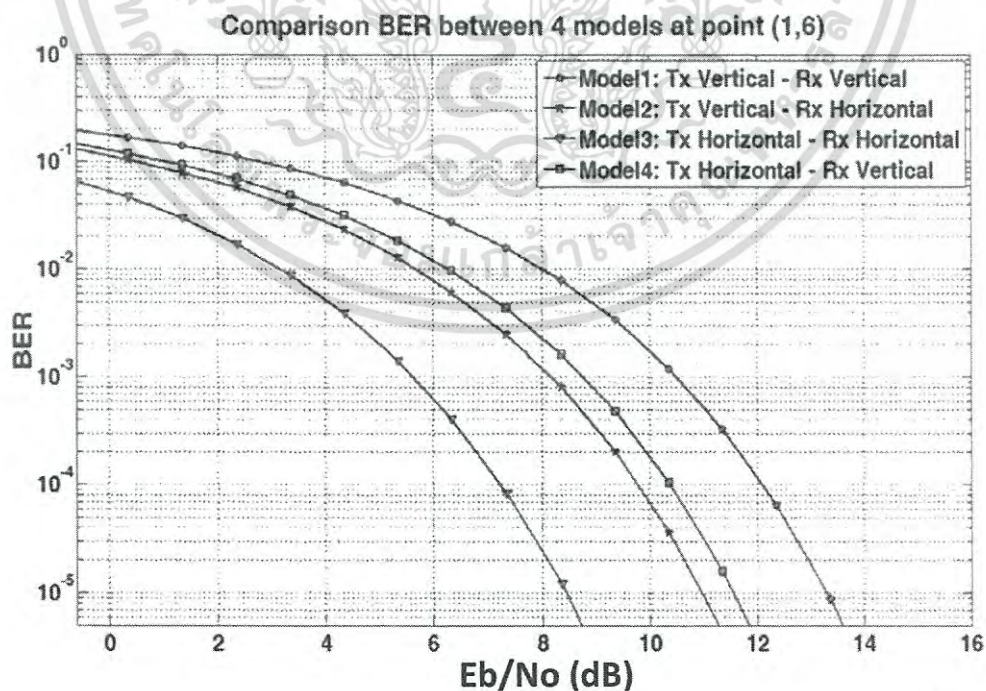
5.3.2 เปรียบเทียบอัตราผิดพลาดบิตของการจัดวางทิศทางสายอากาศทั้ง 4 รูปแบบ

อัตราผิดพลาดบิตในแต่ละตำแหน่ง แสดงให้เห็นดังรูปที่ 5.26 ถึงรูปที่ 5.34 ซึ่งเป็นการแสดงอัตราผิดพลาดบิตของสายอากาศรับ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ดังนี้ (1,1) (1,6) (1,11) (6,1) (6,6) (6,11) (11,1) (11,6) และสุดท้าย (11,11) โดยเป็นการแสดงประสิทธิภาพจากการเปรียบเทียบอัตราผิดพลาดบิตกับอัตราส่วนของพลังงานต่อสัญญาณรบกวนในแต่ละจุดตัวอย่างของการวัด จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าที่ตำแหน่ง (1,6) กรณีสายอากาศส่งและสายอากาศรับอยู่ในแนวตั้ง และตำแหน่ง (11,11) กรณีสายอากาศส่งอยู่ในแนวนอน และสายอากาศรับอยู่ในแนวตั้ง มีอัตราผิดพลาดบิต และอัตราส่วนของพลังงานต่อสัญญาณรบกวนที่ต่ำกว่ากรณีการทดสอบอื่น ๆ ซึ่งเป็นผลอันเนื่องมาจากทิศทางการโพลาริซ และการแมตซ์กันระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ ณ บริเวณนั้น ๆ สำหรับเทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยังเป็นเทคโนโลยีที่มีแถบความถี่ที่กว้างมากต่างกับเทคโนโลยีอื่นที่ใช้แถบความถี่แคบ ดังนั้นในกรณีนี้ค่าของอัตราส่วนของพลังงานต่อสัญญาณรบกวนน้อย ก็จะไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่งผลทำให้อัตราผิดพลาดบิดต่ำด้วยเช่นกัน ซึ่งการนำไปประยุกต์ใช้จึงต้องคำนึงถึงคุณลักษณะที่แตกต่างกันนี้ด้วย

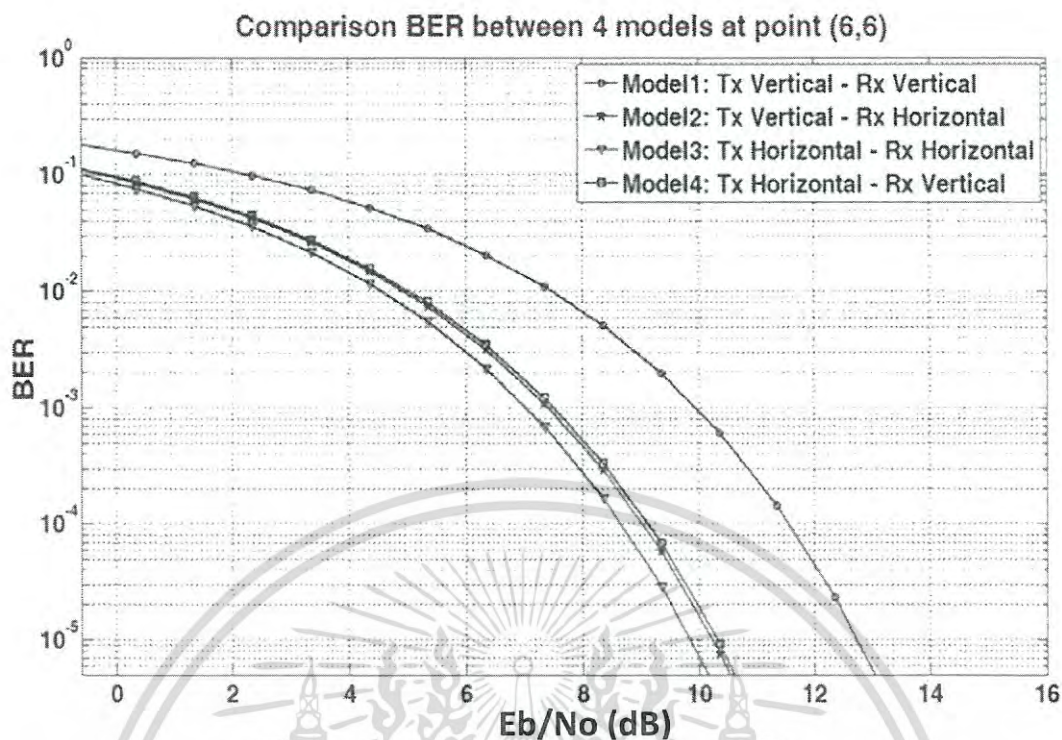


รูปที่ 5.26 เปรียบเทียบอัตราผิดพลาดบิดทิศทางโพลาไรซ์ทั้ง 4 แบบ ที่ตำแหน่ง (1,1)

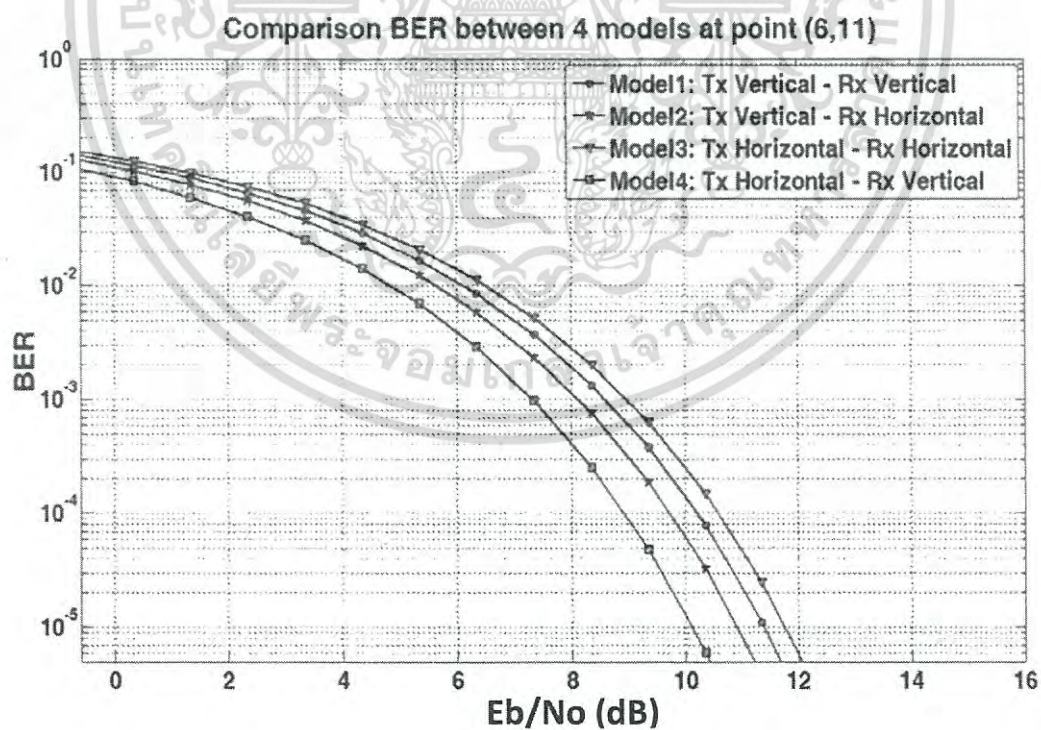


รูปที่ 5.27 เปรียบเทียบอัตราผิดพลาดบิดทิศทางโพลาไรซ์ทั้ง 4 แบบ ที่ตำแหน่ง (1,6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือเป็นสิ่งผิดกฎหมาย การนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

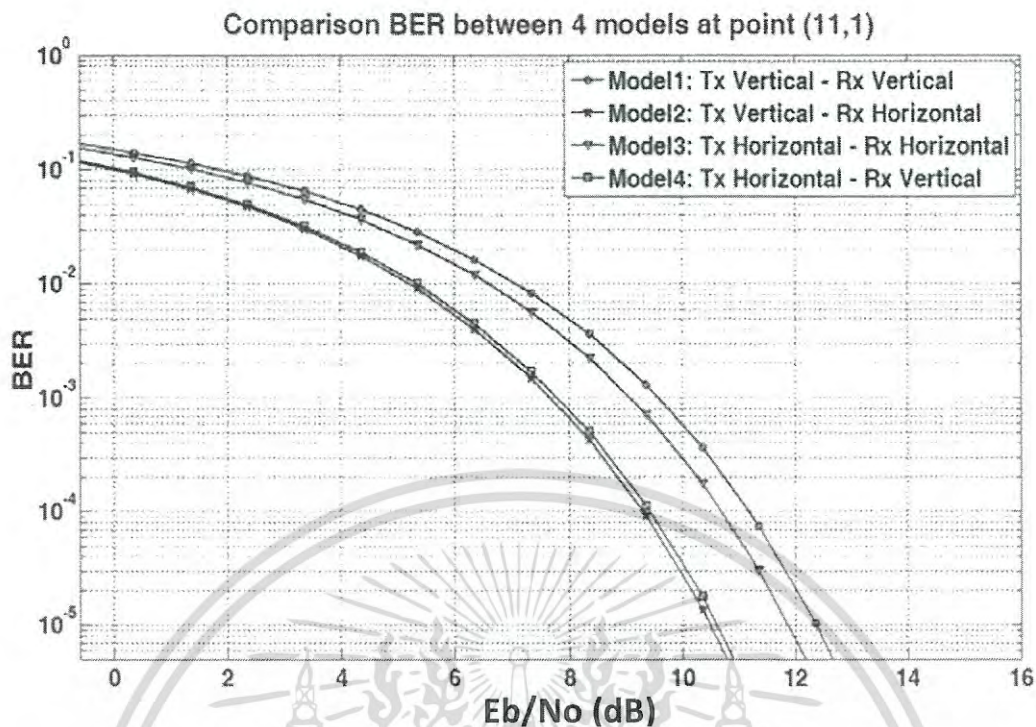


รูปที่ 5.30 เปรียบเทียบอัตราผิดพลาดบิตทิศทางโพลาไรซ์ทั้ง 4 แบบ ที่ตำแหน่ง (6,6)

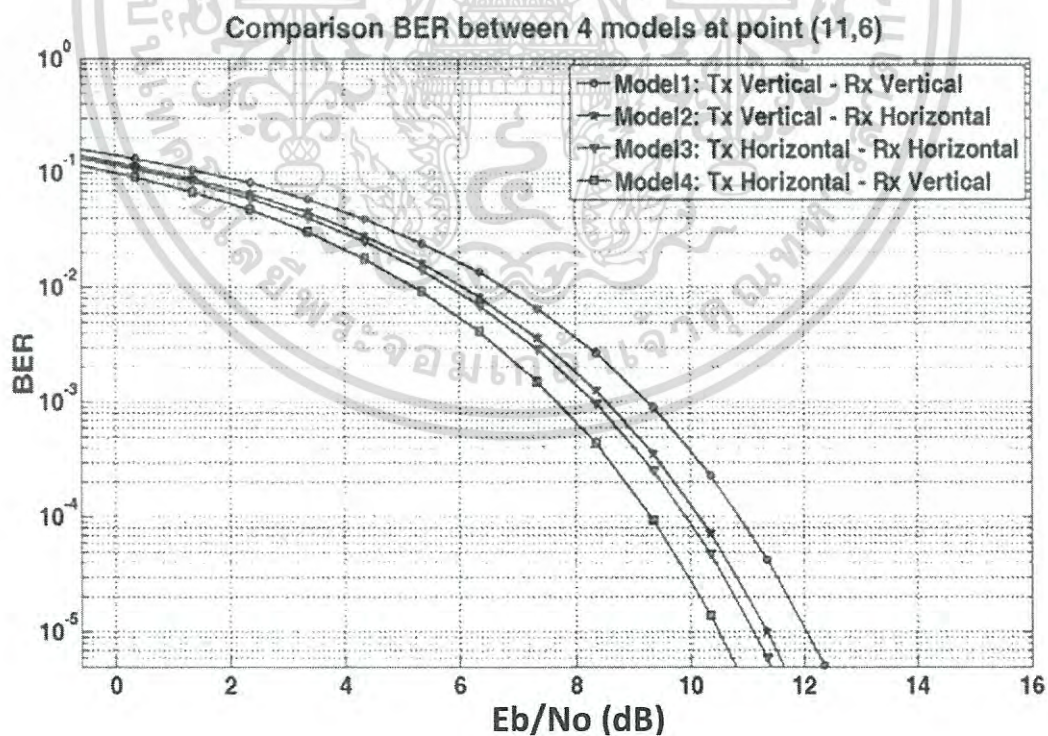


รูปที่ 5.31 เปรียบเทียบอัตราผิดพลาดบิตทิศทางโพลาไรซ์ทั้ง 4 แบบ ที่ตำแหน่ง (6,11)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

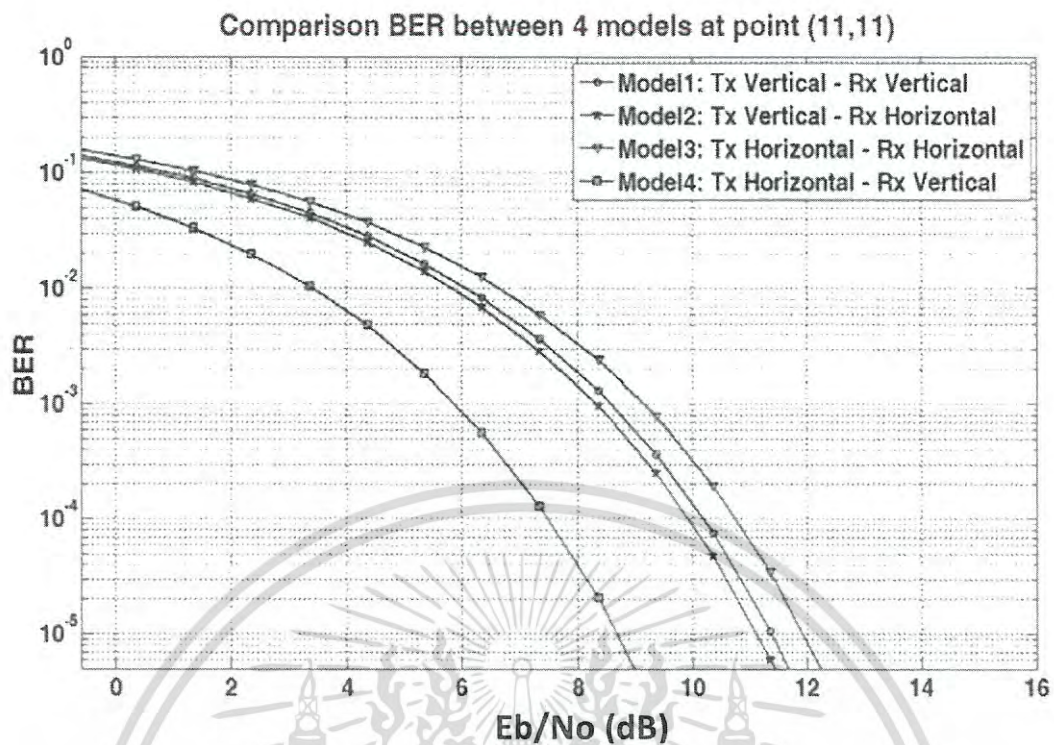


รูปที่ 5.32 เปรียบเทียบอัตราผิดพลาดบิตทิศทางโพลาไรซ์ทั้ง 4 แบบ ที่ตำแหน่ง (11,1)



รูปที่ 5.33 เปรียบเทียบอัตราผิดพลาดบิตทิศทางโพลาไรซ์ทั้ง 4 แบบ ที่ตำแหน่ง (11,6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.34 เปรียบเทียบอัตราผิดพลาดบิตทิศทางโพลาไรซ์ทั้ง 4 แบบ ที่ตำแหน่ง (11,11)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 กล่าวนำ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการจำลองสัญญาณวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่งในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารสำหรับโครงข่ายสำนักงาน โดยการศึกษาช่องสัญญาณการส่งผ่าน ประสิทธิภาพและคุณลักษณะของการสูญเสีย ซึ่งเป็นการทดสอบการส่งผ่านโดยกำหนดทิศทางของโพลาริซชันของสายอากาศส่งและสายอากาศรับ สายอากาศที่ใช้ในการทดสอบเป็นสายอากาศแบบกรวยคู่ โดยสายอากาศส่งถูกสมมติให้ทำหน้าที่เป็นแอดเซสพอยท์สำหรับเทคโนโลยีระบบวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง อยู่ในแนวที่ระดับความสูงปกติทั่วไปที่ระดับ 2.8 เมตร และสายอากาศรับเป็นอุปกรณ์ที่สามารถเชื่อมต่อแบบไร้สาย เช่น คอมพิวเตอร์ สมาร์ทโฟน สมาร์ททีวี และอุปกรณ์สวมใส่อัจฉริยะต่าง ๆ การกำหนดทิศทางโพลาริซชัน ถูกกำหนดเป็นสี่แบบ โดยรายละเอียดการจัดวางทั้งหมดถูกกล่าวไว้ในบทที่ 4 ของวิทยานิพนธ์ การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เริ่มจากการศึกษาเนื้อหาและความสำคัญของปัญหา ตั้งวัตถุประสงค์และสมมุติฐานของการศึกษาเบื้องต้น ขอบเขตของการวิจัยขั้นตอนของการศึกษา ซึ่งเป็นการดำเนินการศึกษาค้นคว้าอย่างเป็นระบบ

6.2 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองวิจัยทำให้ทราบการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่งภายในอาคารและโครงข่ายสำนักงาน โดยประยุกต์สูตรการส่งผ่านของฟรีส และใช้เครื่องรับสหสัมพันธ์ทางด้านรับสำหรับกรวัดได้ใช้เครื่องวิเคราะห์ที่โครงข่ายเวกเตอร์ และสายอากาศแบบกรวยคู่ ทำการวัดในสภาวะแวดล้อมจริงภายในอาคาร โดยการวัดและการทดสอบอยู่บนพื้นฐานของการจำลองช่องสัญญาณ จำนวนจุดสำหรับการวัดถูกกำหนดไว้ที่ 121 จุด จุดที่อยู่ใกล้สุดระหว่างภาคส่งและภาครับเท่ากับ 2.90 เมตร และจุดที่ไกลสุดอยู่ที่ 6.66 เมตร สัญญาณที่ใช้ในการทดลองเป็นสัญญาณอิมพัลส์ที่มีความถี่ตั้งแต่ 3.1 GHz - 10.6 GHz ซึ่งเป็นความถี่ครอบคลุมตลอดทั้งช่วงที่ FCC กำหนด ในการทดลองได้ทดสอบประสิทธิภาพช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งโดยการจัดวางสายอากาศให้มีทิศทางการโพลาริซชันในแบบต่าง ๆ ตามที่กำหนดเพื่อพิสูจน์ทฤษฎี โดยการวัดได้ใช้เครื่องวิเคราะห์ที่โครงข่ายเวกเตอร์ พอร์ทที่ 1 ต่อเข้ากับสายอากาศส่ง และพอร์ทที่ 2 ต่อเข้ากับสายอากาศรับ การวัดสัญญาณทำการวัดแบบทีละจุด โดยรูปแบบและลำดับการวัดถูกกล่าวไว้ในบทที่ 4 ผลที่ได้จากการทดลองเกิดจากการวัดค่าจริงและนำมาประมวลผลทางคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม Matlab เพื่อดูพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น การสูญเสียเชิงวิถี ภาพตัดขวางการประวิงกำลังงาน รากกำลังสองเฉลี่ยการแผ่ประวิง อัตราผิดพลาดบิตสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และอัตราสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน จากผลที่ได้นั้นตรงตามทฤษฎี ทำให้

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถยืนยันผลการแพร่กระจายและทิศทางการโพลาริซชันในแบบต่าง ๆ ได้จนถึงแม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถนำไปประยุกต์พัฒนาใช้กับระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งทางด้านอื่น ๆ ในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพขึ้นไปอีกได้

ผลทดสอบประสิทธิภาพแสดงความแตกต่างอันเนื่องมาจากทิศทางการโพลาริซซ์ของสายอากาศ จะเห็นได้ว่าเมื่อสายอากาศส่งและรับมีการจัดวางทิศทางการโพลาริซซ์เหมือนกัน จะมีการสูญเสียเชิงวิถี ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน และประสิทธิภาพในการรับส่งของสายอากาศส่งและสายอากาศรับดีกว่า กรณีสายอากาศส่งและสายอากาศรับที่มีทิศทางการโพลาริซซ์หลากหลายตัวแปรที่อาจมีผลต่อผลการทดลอง คือสภาวะแวดล้อมภายในห้อง เช่น การสะท้อนกลับของผนัง ฝ้าเพดาน โตะเก้าอี้ มนุษย์ และวัตถุอื่น ๆ ที่อยู่ภายในห้องนั้น

เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งเหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้งานการสื่อสารที่มีอัตราข้อมูลสูง และการสื่อสารไร้สายระยะไกล อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของการโพลาริซซ์สายอากาศได้ถูกนำเสนอไว้ในการวิจัยนี้แล้ว ซึ่งผลจากการศึกษานี้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการวิเคราะห์คุณลักษณะ และออกแบบช่องสัญญาณการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่งในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารสำหรับการประยุกต์ใช้งานในสำนักงานต่อไป

6.3 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ในการทดสอบประสิทธิภาพของช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งได้ใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ทั้งภาคส่งและภาครับ โดยการจำลองการโพลาริซซ์ของสายอากาศเป็นการสื่อสารแบบทางเดียว แต่สำหรับการประยุกต์ใช้งานจริง การสื่อสารอาจเป็นทั้งแบบทางเดียวและสองทาง ซึ่งอุปกรณ์รับส่งสัญญาณอาจจะมีการเคลื่อนที่ เช่น การเชื่อมต่อระหว่างสมาร์ตโฟน กับอุปกรณ์สวมใส่อัจฉริยะ เป็นต้น และในการทดลองได้ทำการทดลองในสภาวะแวดล้อมที่จัดเตรียมไว้ ซึ่งควรมีการศึกษาทดลองในสภาวะแวดล้อมภายในสำนักงานจริงต่อไป โดยอาจพิจารณาใช้สายอากาศประเภทอื่น ๆ ร่วมพิจารณาด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

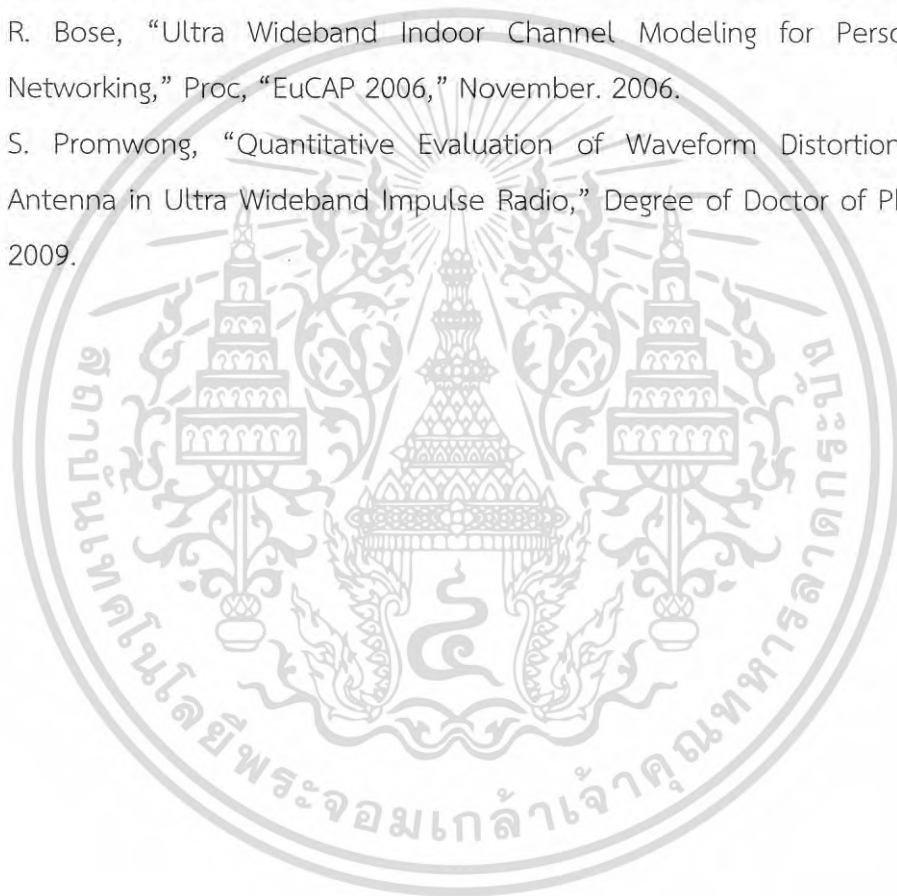
เอกสารอ้างอิง

- [1] M. Ghavami, L. Michael, R. Kohno, "Ultra Wideband Signals and Systems in Communication Engineering," Wiley, 2004.
- [2] M. Benedetto, G. Giancola, "Understanding Ultra Wide Band Radio Fundamentals," Prentice Hall, 2004.
- [3] J. Foerster, E. Green, S. Somayazulu, D. Leeper, "Ultra-Wideband technology for short- or medium-range wireless communications," Intel Technology Journal, 2nd Quarter, pp. 1 – 11, 2001
- [4] J. Proakis, "Digital Communications," McGraw-Hill, 3rd edition, 1995
- [5] J. R. Foerster, S. Roy, S. Somayazulu, and D. Leeper, "Ultrawideband radio design: The promise of High-Speed, Short-Range Wireless Connectivity," Proceedings of The IEEE, Vol. 92, No. 2, pp. 295-311, Feb. 2004.
- [6] R. J. Fontana, "A Brief History of UWB Communications," Multispectral Solutions, Inc. (MSSI), Germantown, MD.
- [7] Federal Communications Commission, "Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding UWB Transmission Systems," First Report, FCC 02-48, Apr. 2002.
- [8] M. Di Benedetto and G. Giancola, "Understanding Ultra Wideband Radio Fundamentals," New Jersey: Prentice Hall, 2004.
- [9] B Allen, "Ultra Wideband Wireless Sensor Networks," IEE UWB Symposium, June 2004.
- [10] I. Opperman et al., "UWB Wireless Sensor Networks: UWEN-A practical example in IEEE Communications Mag," December 2004.
- [11] C. L. Bennett and G. F. Ross, "Time-domain electromagnetics and its applications," Proceedings of the IEEE, Vol. 66, No. 3, pp. 229-318, 1978.
- [12] F. Nekoogar, "Ultra-Wideband Communications: Fundamentals and Applications," New Jersey: Prentice Hall, 2005.
- [13] H. Nikookar and R. Prasad, "Introduction to Ultra Wideband for Wireless Communications," Springer, 2009.
- [14] H.T. Friis, "A note on a simple transmission formula," Proc. IRE, vol. 34, no. 5, pp. 254–256, May 1946.74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [15] S. Promwong, and J. Takada, "Free space link budget estimation scheme for ultra wideband impulse radio with imperfect antennas," IEICE Electronics Express, vol. 1, no. 7, pp. 188–192, July 2004.
- [16] J. Sangthong, P. Supanakoon and S. Promwong, "Study on Indoor Localization Using UWB Fingerprinting," The 3rd Technology and Innovation for Sustainable Development International Conference, pp. 1223-1227, March. 2010.
- [17] R. Bose, "Ultra Wideband Indoor Channel Modeling for Personal Area Networking," Proc, "EuCAP 2006," November. 2006.
- [18] S. Promwong, "Quantitative Evaluation of Waveform Distortion Due to Antenna in Ultra Wideband Impulse Radio," Degree of Doctor of Philosophy. 2009.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลงานวิจัยที่ได้รับการเสนอในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ

1. N. Supa, and S. Promwong, “วิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง Path Loss Model for Short Range Multimedia System,” International Symposium on Multimedia and Communication Technology, September 23 – 25, 2015.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Proceedings of ISMAC 2015



UWB-IR Path Loss Model for Short Range Multimedia System

Nattaphon Supa and Sathaporn Promwong

Department of Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering,
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.
 Email: supa.nattaphon@gmail.com

Abstract—Ultra wideband (UWB) technology is developed very fast in the past few years. It offers many competitive advantages. In communications, it can provide high data rate performance in multi-user network applications and multimedia system. UWB thus, communication systems have been subjected to extensive research and development projects. This paper focuses on the propagation loss in UWB-IR system. This analysis emphasizes on path loss consideration between transmitter and receiver based on measurement data in an indoor environment. This research considers in short range wireless systems in an indoor environment. The concept of model. We suppose the transmitter is an access point and receiver is general electric appliance for example television, camcorder, notebook, PDA and other appliances that can received signal from the access point.

1. INTRODUCTION

Today, most computers and consumer electronic devices from a digital camcorder and DVD player to a mobile PC and a high definition TV (HDTV) require wires to record, play or exchange data. UWB will eliminate these wires, allowing people to “unwire” their lives in new and unexpected ways [1]. Due to a very large bandwidth (7.5 GHz) of free spectrum, FCC recently legalized UWB for commercial use spectrum allocation overlays existing users, but its allowed power level is very low in order to minimize the interference with very high data rates at 10 meters. The data rate of approximately 110 Mbps and possibly 480 Mbps can be achieved at a distances of 3 m under current regulations transmitter which is suitable for battery operated devices [2].

UWB also has several applications all the way from wireless communications to radar imaging, and vehicular radar [3] (Fig. 1). The ultra wide bandwidth and the wide variety of material penetration capabilities allow UWB to be used for radar imaging systems, including ground penetration radars, wall radar imaging, through wall radar imaging, surveillance systems, and medical imaging. Images within or behind obstructed objects can be obtained with a high resolution using UWB.

Similarly, the excellent time resolution and accurate ranging capability of UWB can be used for vehicular radar systems for collision avoidance, guided parking, etc. Positioning location and relative positioning capabilities of UWB systems are other great applications [4] the have recently received significant attention.

II. ULTRA WIRELESS PATH LOSS MODEL

1) *Free space path loss*: In communication systems, free space path loss is the loss in the signal strength of an elec-

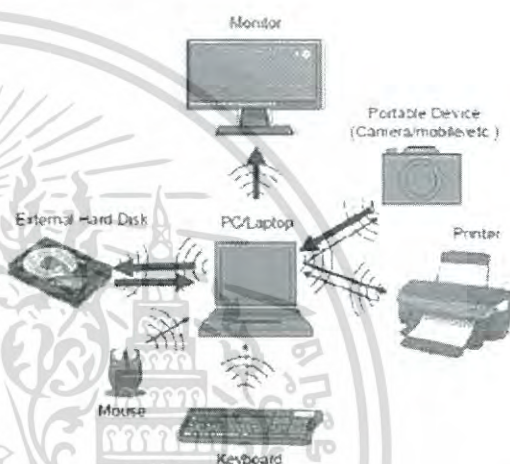


Fig. 1: UWB-IR multimedia communications [1]

tromagnetic wave that would result from a line-of-sight (LOS) path through free space, with no obstacles nearby to cause reflection or diffraction. It does not include factors such as the gain of the antennas used at the transmitter and receiver, nor any loss associated with hardware imperfections. A discussion of these losses may be found in the article on link budget.

There have been several proposed path loss models in the literature. Assuming perfect isotropic radiating antennas at the transmitter and receiver the received power as a function of frequency can be expressed as following

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

$$P_r(f) = \frac{P_t(f)G_t(f)G_r(f)c^2}{(4\pi d)^2 f^2} \quad (2)$$

where $P_r(f)$ is the receive power, $P_t(f)$ is the average transmit power spectral density, $G_t(f)$ is the transmitter gain, $G_r(f)$ is the receiver gain and $G_f(f)$ is the free space propagation gain (less than unity in practice).

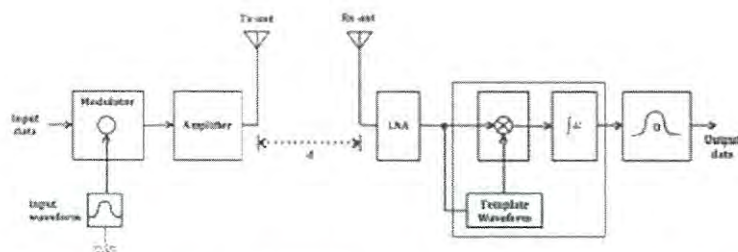


Fig. 2: Block diagram of UWB-IR path loss model for multimedia system

2) *Extension of Friis's Transmission Formula for UWB transmission System:* In narrowband systems, the link budget of the free space propagation loss is usually estimated by using Friis' transmission formula [5]. However, it is not directly applicable to the UWB impulse radio transmission system, as the formula is expressed as a function of the frequency. Moreover, the waveform may be distorted due to the frequency characteristics of the antenna. Ref. [6] treats the special cases of the constant gain and the constant aperture, but no general discussion had been made although it suggested the use of the time-domain antenna effective length.

The Friis' transmission formula has been widely used, and can be applied to the calculation of these LOS channels.

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

where $\lambda = \frac{c}{f}$ is the wavelength, c is the velocity of the light, f is the operating frequency, and d is the separation between transmitter and receiver antennas. It is note, however, that Eq. (1) is satisfied only at same certain frequency, and is not directly applicable to UWB systems. The Friis' transmission formula shall be extended to take into account the transmission signal waveform and its distortion as well [7-8].

Input signal $v_t(t)$ at the transmitter port is expressed as the convolution of an impulse input and the pulse shaping filter $h_t(t)$ as

$$v_t(t) = E_t \delta(t) * h_t(t) \quad (4)$$

where

$$\int_{-\infty}^{\infty} h_t^2(t) dt = \int_{-\infty}^{\infty} |H_t(f)|^2 df = 1 \quad (5)$$

Friis' formula is extended taking into account the transmission waveform [9-10], the channel transfer function H_c is express as

$$H_c(f, d) = \frac{v_r(f)}{E_t} = H_t(f, d) H_s(f) H_r(f) \quad (6)$$

where

$$H_a = H_a(\theta_a, \varphi_a, f) \\ = \hat{\theta}_a H_{a\theta}(\theta_a, \varphi_a, f) + \hat{\varphi}_a H_{a\varphi}(\theta_a, \varphi_a, f) \quad (7) \\ a = T, R$$

where $\hat{\theta}_a, \hat{\varphi}_a$ is the polar angles and azimuth angles of Tx or Rx antenna is a complex transfer function vector of the antenna relative to the isotropic antenna.

3) *Correlation receiver:* Let us consider a correlation receiver shown in figure 1. The output SNR is dependent on the choice of the template waveform. The correlate output $v_0(\tau)$ is therefore expressed as

$$v_0(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v_r(t) h_w(t - \tau) dt \quad (8)$$

where $v_r(t)$ is the receiver input waveform which is inverse Fourier transform, and $h_w(t)$ is the template waveform. τ is the corresponds to the timing of the template waveform, and the optimum timing τ_0 is chosen as

$$\tau_0 = \arg \max_{\tau} v_0(\tau) \quad (9)$$

Hereafter $h_w(t)$ is normalized as

$$\int_{-\infty}^{\infty} |h_w(t)|^2 dt = 2B \quad (10)$$

Where B is the signal bandwidth, so that the output noise power is constant as $N_0 B$, where $\frac{N_0}{2}$ is power spectral density of AWGN.

Under the constraint of Eq. (9), $h_{wm}(t)$ maximizes $V_0(\tau_0)$ when $h_{wm}(t)$ is a time-reversed and scaled version of $v_r(t)$, i.e.

$$h_{wm}(t) = \frac{\sqrt{2B} v_r(\tau_0 - t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |v_r(t)|^2 dt}} \quad (11)$$

where τ_0 is usually chosen so that $h_{wm}(t) = 0$ for $t < 0$ to satisfy the causality. $h_{wm}(t)$ is called the optimum template waveform hereafter. It is noted that the link budget evaluation is identical to that in Ref.[5] when $h_{wm}(t)$ is used as the receiver template.

4) *Isotropic Correlation receiver:* It is obvious from Eq. (10) that the optimum template waveform is not the simple timereversed version of the transmitter waveform, but the channel characteristics including the antennas and the free space propagation. Therefore, it is not always feasible to adapt the template waveform to the angular-dependent antenna characteristics, since the waveform shall be generated at the clock rate of tens of gigahertz. Therefore, we consider a canonical template waveform $h_{wc}(t)$. In this paper we have chosen $h_{wc}(t)$ that is optimum for the isotropic and the constant gain antennas, i.e.

$$h_{wc}(t) = \frac{\sqrt{2B}v_{T,iso}(\tau_0 - t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |v_{T,iso}(t)|^2 dt}} \quad (12)$$

where

$$v_{T,iso}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} H_i(f)V_i(f)\exp(j2\pi ft)df \quad (13)$$

Is the receiver input voltage for isotropic antenna including. The difference of the waveform.

5) *Path loss*: In the wireless communication system is important parameter use for analyze the channel propagation that is path loss. Due to propagation channel by consider the propagation of UWB signals in indoor environments is an important issue with significant impacts on the future direction and scope of the UWB technology and its applications.

$$PL[dB] = 20 \log \frac{v_t(t)}{v_r(t)} \quad (14)$$

where v_t is the transmitted signal level and v_r is received signal level

For UWB-IR path loss we consider at transmitted signal maximum power and received signal maximum power as function of distance d

$$PL_{UWB}(d)[dB] = 20 \log \left[\frac{\max|v_t(t)|}{\max|v_r(t)|} \right] \quad (15)$$

From (15) we define the transmitted signal equal 1 therefore we can rewrite equation as following

$$PL_{UWB}(d)[dB] = -20 \log(\max|v_r(t)|) \quad (16)$$

III. EXPERIMENTAL SYSTEM AND MEASUREMENT MODEL

We experiment in frequency domain and after that we invert fast fourier transform to IR-UWB

The important parameters for the experiments are listed in Table I. it is noted that the calibration is done at the connectors of the cables to be connected to the antennas. Therefore, all the impairments of the antenna characteristics are included in the measured results.

A. UWB transmission waveform model

For UWB-IR transmission waveform, the rectangular pass-band waveform is considered as the UWB transmitted signal. The expression of UWB transmitted signal (v_t) in time domain is given by Eq 17.

$$v_t = \frac{1}{f_b} [f_H \cos(2f_H t) - f_L \cos(2f_L t)] \quad (17)$$

where f_H is the maximum frequency [10.6 GHz], f_L is the minimum frequency [3.1 GHz], f_b is the occupied bandwidth [$f_b = f_H - f_L = 10.6 - 3.1 = 7.5$ GHz] [12] and $\cos(x) = \frac{\sin(\pi x)}{(\pi x)}$

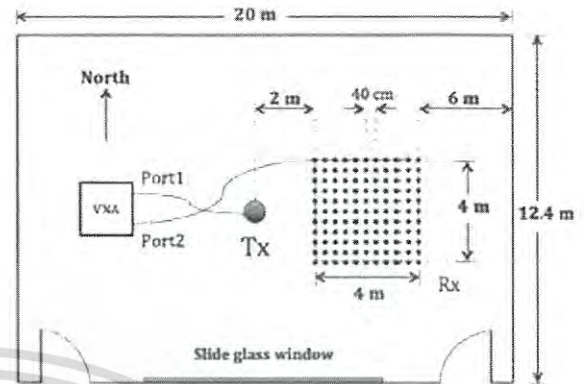


Fig. 3: Dimension of room and instrument setup positioning - Top view)

B. Parameters of Experiments

TABLE I: Experimental setup parameters.

Parameter	Value
Frequency range	3 GHz to 11 GHz
Number of frequency points	801
Dynamic power range	80 dB
Antenna type	Biconical
Tx antenna height	2.80 m
Rx antenna height	0.7 m
Distance between Tx and Rx	2.90 to 6.66 m
Rx move step	0.4 m

IV. RESULTS AND DISCUSSION

In the results can be get from equation 15 and 16. Performance results showed difference value due to the polarization of the antenna. We can see that when Tx and Rx antenna are same polarization (Tx vertical-Rx vertical and Tx horizontal-Rx horizontal) the performance is better than Tx and Rx antenna are various polarization (Tx vertical-Rx horizontal and Tx horizontal-Rx vertical) so a performance of this experiment accurate along to theory of antenna. Beside polarization of the antenna, other factor that may effected to the results of experiment that is environment of experiment room. For example, reflections off walls, ceilings, furniture, people, and other object that may be present within a room.

UWB-IR is a suitable technology to be used in high data rate short range wireless communications and multimedia system, however, performance of each antenna polarization in the experimental is consider. The Results of this study is useful for designed UWB IR propagation channel in an indoor environment for short range wireless systems.

V. CONCLUSION

UWB technology is one of the hot topics of today because of a tremendous promise it holds especially in the field of high data rate and short distance wireless communications. Once realized, UWB can hold its sway over a varied range of applications with the small hardware complexity.

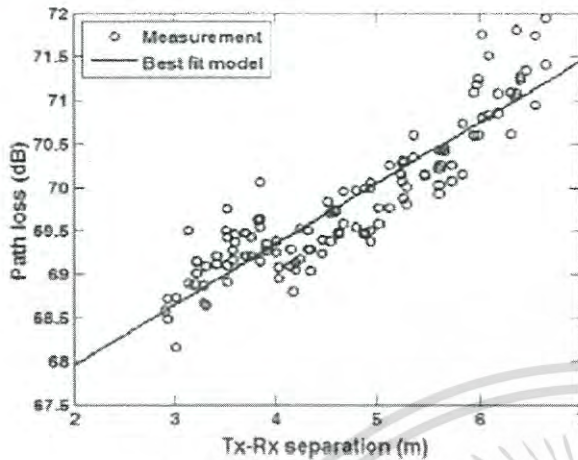


Fig. 4: Path loss in case Tx Vertical-Rx Vertical

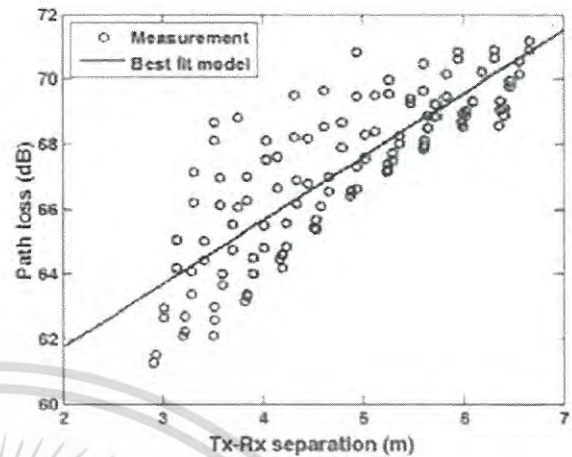


Fig. 6: Path loss in case Tx Horizontal-Rx Horizontal

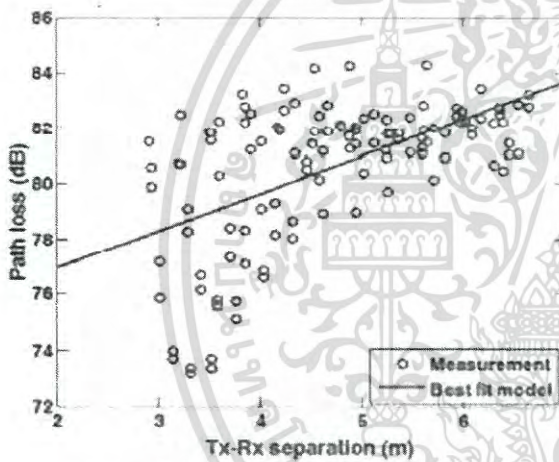


Fig. 5: Path loss in case Tx Vertical-Rx Horizontal

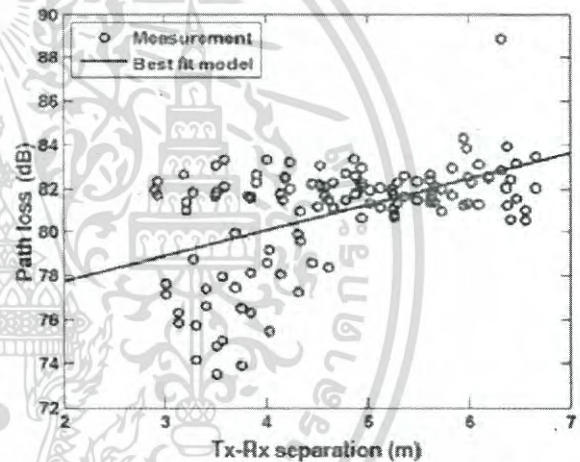


Fig. 7: Path loss in case Tx Horizontal-Rx Vertical

This paper we has presented is the UWB-IR Path Loss model in an indoor environment to investigate the performance and characteristics of transmission loss by various polarization of transmitter and receiver antennas. The transmitter and receiver used are biconical antennas. The co-polarize in vertical polarize accurate than horizontal polarize. This scheme may be effective especially to evaluate the deployable antenna.

REFERENCES

- [1] G. Heidari, "Wimidia UWB," Great Britain by Antony Rowe Ltd, Chippenham, Wiltshire, 2008.
- [2] Federal Communications Commission, "Revision of Part 15 of the Communication's Rules Regarding UWB Transmission Systems." First Report, FCC 02-48, Apr. 2002.
- [3] J. R. Foerster, S. Roy, S. Somayazulu, and D. Leeper, "Ultrawideband radio design: The promise of High-Speed, Short-Range Wireless Connectivity," *Proceedings of The IEEE*, Vol. 92, No. 2, pp. 295-311, Feb. 2004.
- [4] R. J. Fontana, "A Brief History of UWB Communications," *Multispectral Solutions, Inc. (MSSI)*, Germantown, MD.
- [5] H. T. Friis, "A note on a simple transmission formula," *Proc. IRE*, vol. 34, no. 5, pp. 254-256, May 1946.
- [6] United States of America, "Path loss calculations for ultrawideband signals in indoor environments," *ITU-R Document 3K/30-E*, pp. 1-14, Nov. 2003.
- [7] J. Takada, S. Promwong and W. Hachitani, "Extension of Friis' Transmission Formula for Ultra-Wideband Systems," *IEICE Tech. Rep.*, WBS2003-8/MW2003-20, May 2003.
- [8] A. H. Mohammadian, A. Rajkuba, and S.S.Soliman, "Characterization of UWB Transmit-Receive Antenna System," *Proc. IEEE Conf. Ultra Wideband Syst. Tech. (UWBST) 2003*, Nov. 2003.
- [9] S. Promwong, and J. Takada, "Free space link budget estimation scheme for ultra wideband impulse radio with imperfect antennas," *IEICE Electronics Express*, vol. 1, no. 7, pp. 188-192, July 2004.
- [10] S. Promwong and W. Hachitani, and J. Takada, "Free Space Link Budget Evaluation of UWB-IR Systems," *2004 International Work shop on Ultra Wideband Systems Joint with Conference on Ultra Wideband Systems and Technology (UWBST & IWU/WBS)*, May 2004.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายณัฐพล สุภา
วัน เดือน ปีเกิด	14 กุมภาพันธ์ 2528 ที่ เชียงใหม่
ที่อยู่	99/93 ซอยแจ้งวัฒนะ 35 ถนนแจ้งวัฒนะ – ปากเกร็ด ตำบลคลองเกลือ อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี 10110 โทร.09 2283 3569
ประวัติการศึกษา	2551 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1.) ระบบโทรคมนาคม 2.) เทคโนโลยีไร้สายวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ.2551-ปัจจุบัน	ตำแหน่งวิศวกร บริษัท กสท โทรคมนาคม จำกัด (มหาชน)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้