

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของช่องสัญญาณแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์
แบบแถบกว้างยิ่งที่มีแลปท็อปคอมพิวเตอร์ในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร
สำหรับโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคล

PERFORMANCE ANALYSIS OF ULTRA WIDEBAND IMPULSE RADIO
PROPAGATION CHANNEL WITH LAPTOP COMPUTER IN AN INDOOR
ENVIRONMENT FOR PERSONAL AREA NETWORKS



ณรงค์ศักดิ์ มโนสิทธิชัย

NARONGSAK MANOSITTHICHAJ

จ.น.

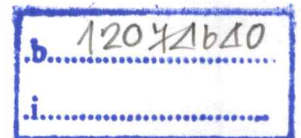
๐๖ ๒๔๙๗.

๒๕๕๑

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 87870

วัน,เดือน,ปี... 19 ส.ค. 2552



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. ๒๕๕๑

KMITL-2008-EN-M-230-163

**PERFORMANCE ANALYSIS OF ULTRA WIDEBAND IMPULSE RADIO
PROPAGATION CHANNEL WITH LAPTOP COMPUTER IN AN INDOOR
ENVIRONMENT FOR PERSONAL AREA NETWORKS**

NARONGSAK MANOSITTHICHAJ

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

2008

KMITL-2008-EN-M-230-163

COPYRIGHT 2008

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งที่มีแถบที่ออปคอมพิวเตอร์ในสถานะแวดล้อมภายในอาคารสำหรับโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคล

นักศึกษา

นายณรงค์ศักดิ์ มโนสิทธิชัย

รหัสประจำตัว

49061058

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมสารสนเทศ

พ.ศ.

2551

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์

บทคัดย่อ

เทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งเมื่อไม่นานมานี้ได้พิจารณานำมาประยุกต์ใช้สำหรับระบบสื่อสารระยะสั้น ยกตัวอย่างเช่น โครงข่ายพื้นที่ท้องถิ่นแบบไร้สายและโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลแบบไร้สายภายในสำนักงานและบ้านพักอาศัย ด้วยคุณสมบัติที่มีแถบความถี่กว้าง, ส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูง, มีกำลังงานการส่งต่ำและราคาถูก ดังนั้นเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งจึงเป็นที่น่าสนใจมากทั้งในด้านการวิจัยและทางด้านการค้า เพื่อให้การสื่อสารระบบแถบกว้างมีประสิทธิภาพในการส่งผ่านข้อมูลได้ดี จึงจำเป็นต้องศึกษาคุณลักษณะของช่องสัญญาณการกระจายคลื่นภายในอาคาร ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้มีการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของช่องสัญญาณส่งผ่านสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง และได้ทำการวัดและทดสอบจริงของค่าการสูญเสียในการส่งผ่านช่องสัญญาณในสถานะแวดล้อมภายในอาคาร และนอกจากนี้ยังได้นำเอาสายอากาศประกอบติดเข้ากับเครื่องแถบที่ออปคอมพิวเตอร์ ซึ่งได้อธิบายคุณลักษณะระบบการส่งผ่านสัญญาณวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งในย่านความถี่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz และได้ใช้รูปคลื่นสัญญาณส่งแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยม สำหรับการทดลองวิจัยได้วัดฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณภายในห้องประชุมโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ในการวัดและบันทึกผล จากนั้นจะนำผลที่ได้จากการวัดมาประเมินหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งโดยประยุกต์ใช้สูตรการส่งผ่านสัญญาณของฟรีส ทางด้านรับได้พิจารณาใช้วงจรกรองแบบแมตซ์เพื่อทำให้มีค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงสุด ได้พิจารณาใช้แบบจำลองเชิงสถิติหากคุณสมบัติเชิงสถิติของการสูญเสียเชิงวิถี, ค่าเฉลี่ยเวลาประวิงและการแผ่ประวิง RMS ได้ทำการวิเคราะห์การสูญเสียเชิงวิถีด้วยแบบจำลองการสะท้อนพื้นสำหรับช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง

Thesis Title	Performance Analysis of Ultra Wideband Impulse Radio Propagation Channel with Laptop Computer in an Indoor Environment for Personal Area Networks
Student	Mr. Narongsak Manositthichai
Student ID.	49061058
Degree	Master of Engineering
Programme	Information Engineering
Year	2008
Thesis Advisor	Mr. Sathaporn Promwong

ABSTRACT

An ultra wideband impulse radio (UWB-IR) is applied for short-range system such as wireless local area network (WLAN) and wireless personal area network (WPAN) in office and home. The characteristics of indoor propagation channel are very complicated and difficult to predict. Therefore, the performances of transmission signal shall be analyzed and experiment on characteristics of transmission loss for ultra wideband radio in an indoor environment with laptop computer. We discuss the characteristics of UWB-IR transmission system 3.1 GHz - 10.6 GHz. The rectangular passband waveform is used as the UWB-IR transmitted waveform. The transfer functions of channels are experimented in the convention room by using a vector network analyzer (VNA). The matched filter is considered at a receiver side to maximize the signal-to-noise ratio (SNR). The bit error rate (BER), the optimum received signal, the transmission gain and correlation coefficient are evaluated and shown. The statistical model is used to characterize path loss, mean access delay and RMS delay spread. The ground reflection path loss of the UWB-IR propagation channel is analyzed.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีด้วยคำแนะนำชี้แนะแนวทางในการแก้ปัญหาและให้คำปรึกษาที่มีคุณค่าตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัยและเขียนวิทยานิพนธ์จากท่านอาจารย์สถาพร พรหมวงศ์ หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์และหัวหน้ากลุ่มงานวิจัยการสื่อสารไร้สาย นอกจากนี้ยังให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ห้องประชุมภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศสำหรับการทดลองวิจัย ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์เมตตาจากท่านอาจารย์และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชญ์ สุพรรณกุล ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ ที่คอยให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางในการวิเคราะห์ทางทฤษฎี

ขอขอบพระคุณ บิดาและมารดา ที่ได้ให้ชีวิตและให้การสนับสนุนทางการศึกษาพร้อมทั้งคอยดูแลช่วยเหลือและให้กำลังใจทำให้ผู้วิจัยทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ นักศึกษาทุกคนที่ช่วยเหลือในการทดลองและให้คำแนะนำมาโดยตลอดจนวิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัยที่เมตตาให้ทุนสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ณรงค์ศักดิ์ มโนสิทธิชัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
รายการคำย่อและสัญลักษณ์.....	XIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	3
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	4
1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน.....	4
1.6 ขอบเขตการวิจัย.....	5
1.7 ขั้นตอนของการศึกษา.....	6
บทที่ 2 เทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	7
2.1 กล่าวนำ.....	7
2.2 ประวัติและความเป็นมาของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	9
2.3 ลักษณะเฉพาะของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	9
2.4 ข้อกำหนดของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	10
2.4.1 กฎข้อบังคับของคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาสำหรับระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	11
2.4.2 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในยุโรป.....	12
2.5 จุดเด่นของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	13
2.6 สรุป.....	15

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ทฤษฎีการวิเคราะห์ช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งในสภาวะ แวดล้อมภายในอาคาร.....	16
3.1 กล่าวนำ.....	16
3.2 แบบจำลองช่องสัญญาณหลายวิถีในระบบแบบแถบกว้างยิ่ง.....	16
3.3 แบบจำลองการสูญเสียเชิงวิถี.....	17
3.3.1 การสูญเสียในอวกาศว่าง.....	17
3.4 แบบจำลองทฤษฎีการสะท้อนจากพื้น.....	19
3.5 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	21
3.5.1 ทฤษฎีการประยุกต์สูตรการส่งผ่านสัญญาณของฟรีสสำหรับระบบการส่งผ่าน สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง.....	21
3.5.2 วงจรกรองแบบแมตซ์.....	24
3.5.3 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน.....	26
3.5.3.1 ค่าการกระจายทางเวลา.....	26
3.5.4 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี.....	27
3.5.5 ระยะจุดหักมุม.....	28
3.5.6 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์.....	29
3.5.7 อัตราความผิดพลาดบิต.....	30
3.6 การจำลองผลโดยวิธีการประมาณค่าผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยน้อยสุด.....	31
3.7 แบบจำลองทางสถิติ.....	34
3.7.1 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น.....	34
3.7.2 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นสะสม.....	34
3.7.3 การทดสอบไคกำลังสอง.....	35
3.8 สรุป.....	35

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 แบบแผนการทดลองวัดและการทดลองวัดช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์	
แบบแถบกว้างยิ่ง.....	37
4.1 กล่าวนำ.....	37
4.2 แบบแผนการทดลองวัด.....	37
4.3 การทดลองวัดช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง.....	39
4.3.1 การทดลองวัดช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งแบบที่ 1.....	39
4.3.2 การทดลองวัดช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งแบบที่ 2.....	41
4.3.3 การทดลองวัดช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งแบบที่ 3.....	43
4.4 สายอากาศที่ใช้ในการทดลองวัด.....	45
4.4.1 สายอากาศแบบกรวยคู่.....	45
4.4.2 สายอากาศแบบเส้นตัวนำกลาง.....	46
4.5 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง.....	47
4.5.1 พารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการทดลองวัดแบบที่ 1.....	48
4.5.2 พารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการทดลองวัดแบบที่ 2.....	48
4.5.3 พารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการทดลองวัดแบบที่ 3.....	49
4.6 แบบจำลองสัญญาณที่ใช้ส่ง.....	49
4.6.1 รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม.....	49
4.7 สรุป.....	51
บทที่ 5 ผลการทดลองวัดและการวิเคราะห์.....	53
5.1 กล่าวนำ.....	53
5.2 ผลการวัดและการวิเคราะห์.....	53
5.2.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองวัดแบบที่ 1.....	53
5.2.1.1 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ.....	53
5.2.1.2 ค่าการแผ่ประวิง.....	54
5.2.1.3 ค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณ.....	55
5.2.1.4 ค่าความเพี้ยนของสัญญาณ.....	56

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2.1.5 อัตราการขยายการส่งผ่านสัญญาณในช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง.....	56
5.2.1.6 ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง.....	57
5.2.1.7 สัญญาณที่รับได้และสัญญาณที่ผ่านวงจรกรองแบบแมตซ์ที่มีค่าที่ดีที่สุด.....	58
5.2.1.8 อัตราความผิดพลาดบิต.....	59
5.2.1.9 การวิเคราะห์ทางสถิติ.....	59
5.2.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองวัดแบบที่ 2.....	62
5.2.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองวัดแบบที่ 3.....	70
5.3 สรุป.....	71
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	72
6.1 กล่าวนำ.....	72
6.2 สรุปผลการวิจัย.....	72
6.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา.....	73
เอกสารอ้างอิง.....	75
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	77
ประวัติผู้เขียน.....	94

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงาน โดย FCC สำหรับการใช้งานในระบบการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร [4].....	12
2.2 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงาน โดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร [4].....	13
2.3 ประเภทของการใช้งานที่ได้รับอนุมัติโดย FCC [4].....	13
4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง.....	48
4.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง.....	48
4.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง.....	49
5.1 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสำหรับช่องสัญญาณการแพร่กระจายแบบแถบกว้างยิ่งของแบบการทดลองวัดที่ 1	62
5.2 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสำหรับช่องสัญญาณการแพร่กระจายแบบแถบกว้างยิ่งของแบบการทดลองวัดที่ 2	70
5.3 ค่าสัมประสิทธิ์ n_1 , n_2 และระยะจุดหักมุมที่ความสูงของสายอากาศ 0.10 และ 0.20 เมตร ด้วยวิธี MMSE และวิธี first Fresnel zone ตามลำดับ สำหรับการทดลองวัดแบบที่ 3.....	71

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ความหนาแน่นของสเปกตรัมกำลังงานที่กำหนดโดย FCC สำหรับระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร [3] ที่ได้ทำการศึกษาวิจัย.....	2
1.2 แนวคิดในการศึกษาวิจัยระบบวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งกรณีใช้งานร่วมกับแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์สำหรับ โครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลแบบไร้สายภายในห้องประชุม.....	4
2.1 การประยุกต์ใช้ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งสำหรับอุปกรณ์ประเภทต่างๆ ในการรับ-ส่งข้อมูล.....	8
2.2 วิวัฒนาการของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	9
2.3 การเปรียบเทียบแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งและระบบการสื่อสารแบบแถบแคบ [3]	11
2.4 จุดพิจารณาของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง [3]	11
2.5 ความหนาแน่นของสเปกตรัมกำลังงานตามข้อกำหนด FCC part 15 limit สำหรับการสื่อสารของระบบแบบแถบกว้างยิ่งภายในและภายนอกอาคาร [3].....	12
3.1 แบบจำลองของช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งแบบหลายวิถีในอาคาร.....	17
3.2 แหล่งกำเนิดสัญญาณแบบทุกทิศทาง [3].....	19
3.3 แบบจำลองการสะท้อนจากพื้นสำหรับวิเคราะห์ช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง [3].....	19
3.4 บล็อกไดอะแกรมของระบบการส่งผ่านโดยการประยุกต์ใช้สูตรการส่งผ่านสัญญาณของฟรีสในการส่งผ่านสัญญาณสำหรับวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง	22
3.5 บล็อกไดอะแกรมการหาค่าอัตราขยายของช่องสัญญาณการส่งผ่านสำหรับวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง.....	25
3.6 ตัวอย่างภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน [14].....	26
3.7 a) ชุดข้อมูล b) ฟังก์ชันที่ใช้แทนค่าชุดข้อมูล โดยคำนึงถึงแนวโน้มรวม	31
3.8 เส้นที่ใช้แทนชุดข้อมูลที่มีสองจุดได้โดยให้เงื่อนไขในข้อหนึ่งมีค่าน้อยที่สุด.....	33
3.9 เส้นที่ใช้แทนชุดข้อมูลที่มีสี่จุดได้โดยเงื่อนไขในข้อสองมีค่าน้อยที่สุด.....	33
4.1 แบบแผนการทดลองวัดช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง.....	38
4.2 การเตรียมการวัดช่องสัญญาณวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง (แบบที่ 1)	40
4.3 ขนาดของห้องดำเนินการจัดวางอุปกรณ์ (แบบที่ 1).....	40
4.4 การทดลองวัดช่องสัญญาณวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง (แบบที่ 1).....	41

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 การเตรียมการวัดช่องสัญญาณวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง (แบบที่ 2)	41
4.6 ขนาดของห้องตำแหน่งการจัดวางอุปกรณ์ (แบบที่ 2).....	42
4.7 การทดลองวัดช่องสัญญาณวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง (แบบที่ 2).....	42
4.8 การเตรียมการวัดช่องสัญญาณวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง (แบบที่ 3)	43
4.9 ขนาดของห้องตำแหน่งการจัดวางอุปกรณ์ (แบบที่ 3).....	44
4.10 การทดลองวัดช่องสัญญาณวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง (แบบที่ 3).....	44
4.11 โครงสร้างและขนาดของสายอากาศแบบกรวยคู่.....	45
4.12 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศแบบกรวยคู่.....	46
4.13 อัตราการขยายและเฟสของสายอากาศแบบกรวยคู่.....	46
4.14 โครงสร้างและขนาดสายอากาศแบบเส้นตัวนำกลาง	47
4.15 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศแบบเส้นตัวนำกลาง.....	47
4.16 รูปคลื่นสัญญาณที่ใช้ในการส่งผ่านระบบแบบแถบกว้างยิ่ง	51
4.17 ความหนาแน่นสเปกตรัมของรูปคลื่นสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	51
5.1 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานในแต่ละระยะทางที่มีผลจากแถบที่อปคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 1).....	54
5.2 ค่าการแผ่ประวิงในแต่ละระยะทางที่มีผลจากแถบที่อปคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 1).....	54
5.3 ค่าการสูญเสียเชิงวิถีที่เกิดผลกระทบจากแถบที่อปคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 1).....	55
5.4 Contour แสดงค่าการสูญเสียเชิงวิถีตามแนวกริด (แบบที่ 1).....	55
5.5 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง (แบบที่ 1).....	56
5.6 ค่าอัตราขยายการส่งผ่านสัญญาณที่มีผลกระทบจากแถบที่อปคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 1).....	56
5.7 ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณ (แบบที่ 1).....	57
5.8 เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณ (แบบที่ 1).....	57

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.9 ขนาดของสัญญาณที่รับได้ของช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง (แบบที่ 1).....	58
5.10 ขนาดของสัญญาณที่ผ่านวงจรกรองแบบแมตซ์ที่มีค่าที่ดีที่สุดของช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง (แบบที่ 1).....	58
5.11 อัตราความผิดพลาดบิตของช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง (แบบที่ 1).....	59
5.12 ความหนาแน่นความน่าจะเป็นของการสูญเสียเชิงวิถี (แบบที่ 1).....	60
5.13 ความหนาแน่นความน่าจะเป็นของค่าเฉลี่ยเวลาประวิง (แบบที่ 1).....	60
5.14 ความหนาแน่นความน่าจะเป็นของค่าการแผ่ประวิง (แบบที่ 1).....	60
5.15 ความหนาแน่นความน่าจะเป็นสะสมของการสูญเสียเชิงวิถี (แบบที่ 1).....	61
5.16 ความหนาแน่นความน่าจะเป็นสะสมของค่าเฉลี่ยเวลาประวิง (แบบที่ 1).....	61
5.17 ความหนาแน่นความน่าจะเป็นสะสมของค่าการแผ่ประวิง (แบบที่ 1).....	61
5.18 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานในแต่ละระยะทางที่มีผลจากแถบที่ออฟคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 2).....	62
5.19 ค่าการแผ่ประวิงในแต่ละระยะทางที่มีผลจากแถบที่ออฟคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 2).....	63
5.20 ค่าการสูญเสียเชิงวิถีที่เกิดผลกระทบจากแถบที่ออฟคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 2).....	63
5.21 Contour แสดงค่าการสูญเสียเชิงวิถีตามแนวกริด (แบบที่ 2).....	64
5.22 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์ (แบบที่ 2).....	64
5.23 ค่าอัตราขยายการส่งผ่านสัญญาณที่มีผลกระทบจากแถบที่ออฟคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 2).....	65
5.24 ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณ (แบบที่ 2).....	65
5.25 เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณ (แบบที่ 2).....	66
5.26 สัญญาณที่รับได้ของช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง (แบบที่ 2).....	66

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.27 ขนาดของสัญญาณที่ผ่านวงจรกรองแบบแมตซ์ที่มีค่าที่ดีที่สุดของช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง (แบบที่ 2).....	67
5.28 อัตราความผิดพลาดบิตของช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง (แบบที่ 2).....	67
5.29 ความหนาแน่นความน่าจะเป็นของการสูญเสียเชิงวิถี (แบบที่ 2).....	68
5.30 ความหนาแน่นความน่าจะเป็นของค่าเฉลี่ยเวลาประวิง (แบบที่ 2).....	68
5.31 ความหนาแน่นความน่าจะเป็นของค่าการแผ่ประวิง (แบบที่ 2).....	68
5.32 ความหนาแน่นความน่าจะเป็นสะสมของการสูญเสียเชิงวิถี (แบบที่ 2).....	69
5.33 ความหนาแน่นความน่าจะเป็นสะสมของค่าเฉลี่ยเวลาประวิง (แบบที่ 2).....	69
5.34 ความหนาแน่นความน่าจะเป็นสะสมของค่าการแผ่ประวิง (แบบที่ 2).....	69
5.35 ค่าการสูญเสียที่ความสูงสายอากาศ 0.10 เมตร ที่เปลี่ยนแปลงตามระยะทางด้วยการเปรียบเทียบระหว่างวิธี MMSE และวิธี first Fresnel zone เพื่อหาคำแหน่งจุดหักมุม	70
5.36 ค่าการสูญเสียที่ความสูงสายอากาศ 0.20 เมตร ที่เปลี่ยนแปลงตามระยะทางด้วยการเปรียบเทียบระหว่างวิธี MMSE และวิธี first Fresnel zone เพื่อหาคำแหน่งจุดหักมุม	71

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

สถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป (European Telecommunications Standards Institute)	ETSI
คณะกรรมการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission)	FCC
โดเมนความถี่ (Frequency Domain)	FD
ช่องทางเพื่อการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ทั่วไป (General Purpose Interface Bus)	GPIO
ระบบดาวบอกพิกัด (Global Positioning Systems)	GPS
สหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union)	ITU
ระดับแนวสายตา (Line of Sight)	LOS
สายอากาศแบบเส้นตัวนำกลาง (Meander Line Antenna)	MLA
การมอดูเลตทางขนาดของพัลส์ (Pulse Amplitude Modulation)	PAM
คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer)	PC
ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน (Power Delay Profile)	PDP
ความสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss)	PL
ระบบแถบกว้างยิ่ง (Ultra Wideband)	UWB
กลุ่มทำงานเกี่ยวกับระบบแถบกว้างยิ่ง (Ultra Wide Band Working Group)	UWBWG
เครื่องวิเคราะห์วงจรรข่าย (Vector Network Analyzer)	VNA
โครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลแบบไร้สาย (Wireless Personal Area Network)	WPAN
โครงข่ายพื้นที่ท้องถิ่นแบบไร้สาย (Wireless Local Area Network)	WLAN
แอมแปร์ (Ampere)	<i>A</i>
เดซิเบล (Decibel)	<i>dB</i>
ฟารัด (Farad)	<i>F</i>
เฮิรตซ์ (Hertz)	<i>Hz</i>
กิกะเฮิรตซ์ (Gigahertz)	<i>GHz</i>
เมตร (meter)	<i>m</i>
วินาที (Second)	<i>s</i>
นาโนวินาที (Nanosecond)	<i>ns</i>
วัตต์ (Watt)	<i>W</i>
มิลลิวัตต์ (Milliwatt)	<i>mW</i>

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

สัดส่วนแบนด์วิดท์ (Fractional bandwidth)	B_f
ความเร็วแสง (Velocity of light), $c = f\lambda = 1/\sqrt{\epsilon_0\mu_0} \approx 3 \times 10^8, m/s$	c
ระยะทาง (distance), m	d
ความถี่ (Frequency), Hz	f
ค่าความถี่บนของระบบการสื่อสาร	f_H
ค่าความถี่ล่างของระบบการสื่อสาร	f_L
อัตราขยายของสายอากาศรับ (Receiver gain), dB	G_R
อัตราขยายของสายอากาศส่ง (transmitter gain), dB	G_T
ฟังก์ชันถ่ายโอนทางความถี่ (Frequency transfer function)	$H(\omega)$
จำนวนจุดความถี่ (Sampling number)	N_{smp}
กำลังงานที่รับได้ (Receive power), W	P_R
กำลังงานที่ส่ง (Transmitt power), W	P_T
เครื่องรับ (Receiver)	Rx
สัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (Transmission coefficient)	s_{21}
เวลา (Time), s	t
เครื่องส่ง (Transmitter)	Tx
ค่าคงที่การลดทอน (Attenuation constant), $Np \cdot m^{-1}$ หรือ $dB \cdot m^{-1}$	α
ฟังก์ชัน Dirac delta	$\delta(t)$
ความยาวคลื่น (Wavelength), m	λ
อิมพีแดนซ์อินทรินซิก (Intrinsic impedance), $\eta = \sqrt{\mu/\epsilon}, \Omega$	η
สภาพยอม (Permittivity), $\epsilon = \epsilon_0\epsilon_r, Fm^{-1}$	ϵ
ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric constant)	ϵ_r
สภาพยอมของอวกาศว่าง (Permittivity of free space), $\epsilon_0 \approx 1/36\pi \times 10^{-9}, Fm^{-1}$	ϵ_0
ความซึมซาบได้ (Permeability), $\mu = \mu_0\mu_r, Hm^{-1}$	μ
ความซึมซาบได้ของอวกาศว่าง (Permeability of free space), $\mu_0 \approx 400\pi \times 10^{-9}, Hm^{-1}$	μ_0
ความซึมซาบได้สัมพัทธ์ (Relative permeability)	μ_r
ค่าเฉลี่ยเวลาประวิง (Mean excess delay), s	$\bar{\tau}$
ค่าการแผ่ประวิง (RMS delay spread), s	σ_τ
ฟังก์ชันสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient)	$\rho(d)$

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

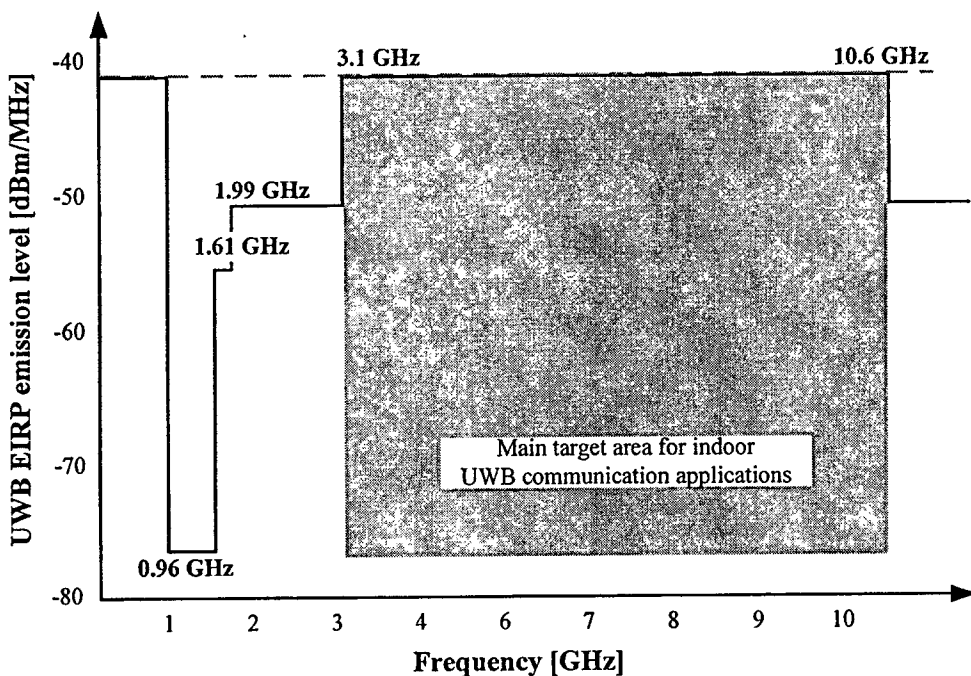
ในปัจจุบันโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลไร้สาย (Wireless Personal Area Networks; WPANs) หรือเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายระยะสั้น (Short length wireless) ซึ่งอยู่ในมาตรฐานของ IEEE 802.15.3a [1] เป็นเทคโนโลยีที่มีการเชื่อมต่อและถ่ายโอนข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ อาทิเช่น กล้องถ่ายรูปดิจิทัล, กล้องถ่ายวิดีโอ, วิดีโอโปรเจกเตอร์, เครื่องปริ้นเตอร์, เครื่องสแกนเนอร์, คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลขนาดพกพา, แล็ปท็อปคอมพิวเตอร์ ฯลฯ ซึ่งจะเป็นการเชื่อมต่อที่มีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงประมาณ 110 Mbps ในระยะทาง 10 เมตรและมีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงขึ้นในระยะทางที่สั้นลง ด้วยเหตุนี้เทคโนโลยีดังกล่าวจึงต้องการอัตราการส่งข้อมูลที่สูง มีกำลังงานในการส่งต่ำ และราคาต้นทุนในการสร้างต่ำ เทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง (Ultra Wideband Impulse Radio; UWB-IR) จึงเป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่เหมาะสมในการนำมาใช้ร่วมกับโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลไร้สาย เพื่อใช้ในโครงข่ายภายในบ้านและสำนักงาน

โดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission; FCC) ได้กำหนดและอนุญาตให้ใช้ระบบการสื่อสารวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งทำงานบนแถบความถี่พิจารณาใช้ตามกฎข้อที่ 15 สำหรับการแพร่กระจายการปล่อยออกมา [2] ระยะของความถี่สัญญาณวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งสำหรับการสื่อสารแบบไร้สาย มีย่านความถี่ตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz แบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนมากกว่าหรือเท่ากับ 0.2 หรือมีแบนด์วิดท์มากกว่าหรือเท่ากับ 500 MHz ความหนาแน่นของสเปกตรัมกำลังงานส่งต่อความถี่ในการส่งสัญญาณของระบบแบบแถบกว้างยิ่งไม่เกิน -41.3 dBm/MHz เครื่องส่งวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งจะทำการส่งพัลส์ที่มีแบนด์วิดท์กว้างและเครื่องรับวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งจะเก็บพลังงานของสัญญาณที่รับมาได้สำหรับการสร้างพัลส์ใหม่อีกครั้ง เนื่องจากระดับความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังบางที่อาจต่ำกว่าระดับสัญญาณรบกวนหรือว่าระบบอื่น ดังนั้นเทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งจึงสามารถใช้งานได้กับเทคโนโลยีคลื่นวิทยุอื่น โดยจะมีการแทรกสอดน้อย

ในขณะที่เดียวกันปัจจุบันนี้แล็ปท็อปคอมพิวเตอร์ได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของเราเป็นอย่างมาก ซึ่งสามารถอำนวยความสะดวกได้อย่างมากมาย เช่น การถ่ายโอนหรือการส่งข้อมูลในรูปแบบต่างๆ, การประชุมโดยใช้ร่วมกับวิดีโอ และอื่นๆอีกมากมาย หากแต่ว่าจะมีประโยชน์และถูกนำมาใช้งานอย่างคุ้มค่ามากขึ้นเมื่อเครื่องคอมพิวเตอร์เหล่านี้มีการเชื่อมต่อกับระบบการสื่อสารไร้สายที่มีความเร็วสูงเพื่ออำนวยความสะดวกในการสื่อสารและใช้งานต่อไป

ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องพิจารณาและศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดจากแถบที่อุปคอมพิวเตอร์ที่มีต่อคุณลักษณะการส่งผ่านสัญญาณของเทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งเพื่อนำมาวิเคราะห์ในการออกแบบชิ้นส่วนอุปกรณ์และนำประยุกต์ใช้กับแถบที่อุปคอมพิวเตอร์ในโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลแบบไร้สาย เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับการใช้งานต่อไป

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารที่สายอากาศทางด้านส่งและด้านรับประกอบติดกับแถบที่อุปคอมพิวเตอร์สำหรับการสื่อสารระยะสั้นของโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลไร้สาย โดยได้พิจารณาศึกษาถึงผลกระทบจากแถบที่อุปคอมพิวเตอร์ที่มีผลต่อช่องสัญญาณการส่งผ่านที่พิจารณาตามข้อกำหนดของคณะกรรมการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาสำหรับสภาวะแวดล้อมภายในอาคารในย่านความถี่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz และนำผลที่ได้จากการทดลองวัดมาวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ในการแพร่กระจายคลื่นของช่องสัญญาณเพื่อจะได้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการศึกษาวิจัยและประเมินประสิทธิภาพของระบบวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง



รูปที่ 1.1 ความหนาแน่นของสเปกตรัมกำลังงานที่กำหนดโดย FCC สำหรับระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร [3] ที่ได้ทำการศึกษาวิจัย

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุ อิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งที่มีแถบที่อปคอมพิวเตอรืในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร กรณีนี้การส่งผ่านสัญญาณสายอากาศของระบบการสื่อสารวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งจะถูกกำหนดโดยตัวกรองรูปร่างพัลส์สัญญาณต่างๆ ที่มีความเพี้ยนในโดเมนความถี่ เป็นสาเหตุทำให้มีความผิดเพี้ยนในการส่งสัญญาณตามรูปร่างของพัลส์เพราะฉะนั้นจะเพิ่มความซับซ้อนของคุณสมบัติการตรวจจับสัญญาณในทางเครื่องรับ [5]-[6] และยิ่งไปกว่านั้นสายอากาศที่ใช้ในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งมีราคาถูก รูปร่างเล็ก และยังคงรักษาประสิทธิภาพของโครงสร้างตามที่เหมาะสมกับความ ต้องการในการนำไปประยุกต์ใช้กับระบบไร้สายทั่วไป ด้วยเหตุนี้การวิเคราะห์ช่องสัญญาณการส่งผ่านสำหรับวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งจึงเป็นเรื่องหนึ่งที่น่าสนใจมาพิจารณาด้วย [7]

ถึงแม้ว่าช่องสัญญาณจะอยู่ในระดับสายตา (Line of Sight; LOS) แต่สมการการส่งผ่านสัญญาณของฟรีสไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้โดยตรงกับระบบวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง เนื่องจากเป็นระบบที่มีแบนด์วิดท์กว้าง นอกจากนี้การเปรียบเทียบระหว่างรูปคลื่นของเครื่องส่งและเครื่องรับไม่มีความสำคัญ เพราะว่ารูปคลื่นที่ผิดเพี้ยนเกิดมาจากสาเหตุความถี่เนื่องจากสายอากาศ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงทำการศึกษาถึงผลกระทบการสูญเสียการส่งผ่านระหว่างแถบที่อปคอมพิวเตอรืที่มีต่อช่องสัญญาณของระบบวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารเพื่อทำการศึกษาและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบต่อไป

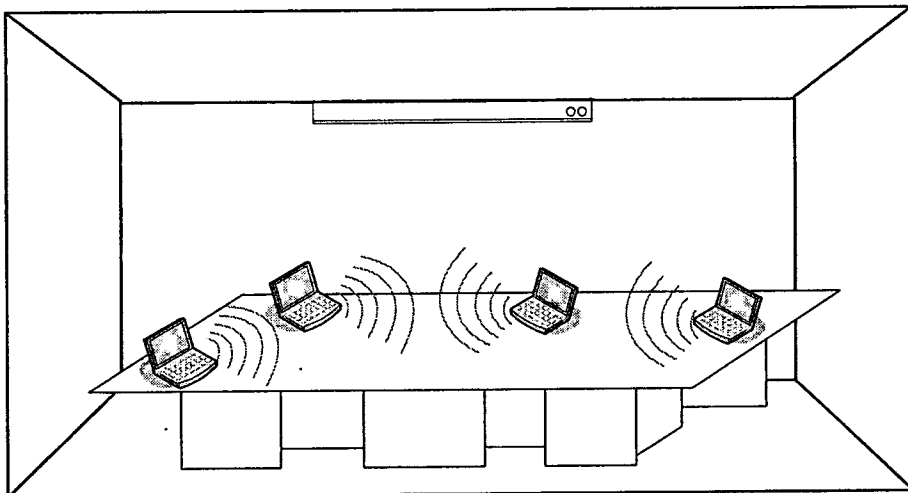
1.3 สมมติฐานของการศึกษา

ในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งร่วมกับเทคโนโลยีโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลแบบไร้สายนั้นช่องสัญญาณการแพร่กระจายคลื่นเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการนำมาพิจารณาประสิทธิภาพของระบบสื่อสาร เพราะเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งเมื่อนำมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับเครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ เช่น กล้องวิดีโอ, แถบที่อปคอมพิวเตอรื เป็นต้น เทคโนโลยีนี้จะผลิตออกมาในรูปแบบของชิป (Chip) หรือเป็นอุปกรณ์ไอซีที่บรรจุเข้าไปในแผงวงจรของอุปกรณ์เหล่านี้เพื่อทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์เชื่อมต่อโยงหรือถ่ายโอนข้อมูล ในงานวิจัยฉบับนี้เราจึงตั้งสมมติฐานว่าหากเรานำแถบที่อปคอมพิวเตอรืมาใช้งานแล้วทำการส่งผ่านข้อมูลในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร ผลกระทบที่เกิดจากแถบที่อปคอมพิวเตอรืที่มีต่อช่องสัญญาณการส่งผ่านของระบบวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งจะทำให้เกิดการสูญเสีย, การลดทอน และการผิดเพี้ยนของสัญญาณมากน้อยเพียงใด หนึ่งด้วยสาเหตุที่เทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งเป็นเทคโนโลยีที่มีช่วงความถี่แบบแถบกว้างเมื่อพิจารณาถึงการใช้งานจริงอุปกรณ์ที่ใช้งานร่วมกับแถบที่อปคอมพิวเตอรืเช่น เมาส์, คีย์บอร์ด เป็นต้น ย่อมมีการเคลื่อนที่และเกิดการสูญเสียอันเนื่องมาจากการ

สะท้อนพื้นอยู่บ่อยครั้ง การพิจารณาและคำนวณหาระยะทางที่เกิดจุดหักมุมจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องทำการพิจารณาด้วย จากที่กล่าวมาข้างต้นประสิทธิภาพของช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งที่มีผลกระทบจากแลปท็อปคอมพิวเตอร์ใช้งานร่วมกันในสถานะแวดล้อมภายในอาคารจึงเป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารได้ด้วยเช่นกัน

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้ได้วิเคราะห์ประสิทธิภาพของช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งและทดสอบคุณลักษณะของค่าการสูญเสียในการส่งผ่านช่องสัญญาณในสถานะแวดล้อมภายในอาคาร โดยสายอากาศทางด้านส่งและด้านรับจะประกอบติดเข้ากับแลปท็อปคอมพิวเตอร์และได้อธิบายถึงแบบแผนการประเมินค่ารูปคลื่นการส่งผ่านสัญญาณในอวกาศว่างสำหรับระบบวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งที่ถูกกำหนดโดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาในแบบแผนนี้ได้ใช้สูตรการส่งผ่านสัญญาณของฟรีสในการประยุกต์ใช้กับระบบวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง รูปคลื่นที่ใช้ในการส่งสัญญาณถูกนำมาใช้กับการประยุกต์สูตรการส่งผ่านสัญญาณของฟรีสในระบบแบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งการทดลองวิจัยได้ใช้สายอากาศชนิดแบนด์กว้างสำหรับการปฏิบัติงานในสถานะแวดล้อมภายในอาคาร



รูปที่ 1.2 แนวคิดในการศึกษาวิจัยระบบวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งกรณีใช้งานร่วมกับแลปท็อปคอมพิวเตอร์สำหรับโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลแบบไร้สายภายในห้องประชุม

1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน

เนื่องจากเทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งที่นำมาใช้ร่วมกับเทคโนโลยีการสื่อสารส่วนบุคคลแบบไร้สายในสถานะแวดล้อมภายในอาคารนั้น ยังอยู่ในขั้นตอนการปรับปรุง

ประสิทธิภาพของอุปกรณ์เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานอย่างต่อเนื่องอยู่เรื่อยๆนั้น ในส่วนการแพร่กระจายคลื่นของช่องสัญญาณจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทำการศึกษาและวิเคราะห์ เพื่อให้การออกแบบและการพัฒนาอุปกรณ์สำหรับการประยุกต์ใช้งานระบบเทคโนโลยีการสื่อสารส่วนบุคคลแบบไร้สายไร้สายนั้นให้เกิดประโยชน์สูงสุด จาก [8] - [9] ได้มีการนำเสนอผลกระทบของแลปท็อปคอมพิวเตอร์ที่มีผลต่อการแพร่กระจายคลื่นในระบบแบบแถบกว้างยิ่งยวดมาแล้ว แต่ยังไม่ได้พิจารณาถึงประสิทธิภาพของช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งยวดอีกทั้งยังไม่ได้มีการวิเคราะห์ค่าการสูญเสียเชิงวิถีโดยพิจารณาในรูปแบบของแบบจำลองการสะท้อนพื้น ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้มีการศึกษาทดสอบเพิ่มเติมเกี่ยวกับการสูญเสียในการส่งผ่านสัญญาณและประเมินประสิทธิภาพของอัตราการขยายในการส่งผ่านสัญญาณของระบบวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งยวดในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร โดยงานวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นถึงผลกระทบของแลปท็อปคอมพิวเตอร์ที่มีต่อการแพร่กระจายคลื่นของช่องสัญญาณในระบบวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งยวดโดยมีสภาวะแวดล้อมที่ทำการทดสอบปฏิบัติงานเป็นห้องประชุม เพื่อให้ได้ผลออกมาใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุดสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งาน และนำผลที่ได้จากการวัดจริงมาทำการวิเคราะห์หาฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณ (Channel transfer function), รูปคลื่นของสัญญาณที่รับได้ที่มีค่าที่ดีที่สุด (Optimum received signal waveform) เมื่อผ่านวงจรกรองแบบแมตซ์, ค่าอัตราการขยายสัญญาณของสายอากาศโดยเทียบกับไอโซโทรปิก (Transmission gain), ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient), ค่าอัตราความผิดพลาดบิต (Bit Error Rate; BER) อีกทั้งได้ใช้แบบจำลองเชิงสถิติหาคุณสมบัติความหนาแน่นความน่าจะเป็นและความหนาแน่นความน่าจะเป็นสะสมของการสูญเสียเชิงวิถี, ค่าเฉลี่ยเวลาประวิง, ค่าการแปรประวิง และมีการหาระยะจุดหักมุมของค่าการสูญเสียเชิงวิถีที่เกิดจากการสะท้อนพื้น โดยพิจารณาใช้วิธี Double linear regression model

1.6 ขอบเขตการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้ทำการศึกษาวิจัยถึงผลกระทบของแลปท็อปคอมพิวเตอร์ที่ส่งผลต่อช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งยวดในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารโดยวิเคราะห์จากผลการทดลองวัดจริงโดยการจัดวางแลปท็อปคอมพิวเตอร์บนโต๊ะประชุม ซึ่งได้มีการเสนอแบบการทดลองวัดทั้งหมด 3 แบบ จากนั้นจะนำผลการทดลองวัดที่ได้มาวิเคราะห์และนำเสนอผลการวิเคราะห์ที่ได้ในรูปแบบของพารามิเตอร์ต่าง ๆ อันประกอบไปด้วยค่าการสูญเสียตามระยะทาง, กระจายทางเวลา, ค่าความผิดเพี้ยน, อัตราการขยายในการส่งผ่านสัญญาณ, ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์, ค่าอัตราความผิดพลาดบิตและวิเคราะห์เชิงสถิติของผลข้อมูลที่ได้จากการวัดจริงสำหรับหาค่าความน่าจะเป็นและความน่าจะเป็นสะสมของการสูญเสียเชิงวิถี, ค่าเฉลี่ยเวลา

ประวิง, ค่าการแผ่ประวิง อีกทั้งยังได้พิจารณาหาค่าระยะจุดหักมุมของการสูญเสียเชิงวิถีอันเนื่องมาจากการสะท้อนพื้นที่มีผลกระทบจากแถบที่ออปคอมพิวเตอรืในสภาวะแวดล้อมห้องประชุม

1.7 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 6 บท ด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงบทนำ ซึ่งประกอบไปด้วยความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมติฐานของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย การเปรียบเทียบระหว่างวิธีที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน ขอบเขตการวิจัย และขั้นตอนของการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงเทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งประกอบไปด้วยบทนำ ประวัติและความเป็นมาของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง ลักษณะเฉพาะของการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง ข้อกำหนดของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง จุดเด่นของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งและบทสรุป

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์ช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร ซึ่งประกอบไปด้วยบทนำ แบบจำลองช่องสัญญาณหลายวิถีในระบบแถบกว้างยิ่ง แบบจำลองการสูญเสียเชิงวิถี อาทิเช่น การสูญเสียในอวกาศว่าง แบบจำลองทฤษฎีการสะท้อนพื้น ทฤษฎีสูตรการส่งผ่านสัญญาณของฟรีส การประยุกต์ทฤษฎีการส่งผ่านสัญญาณของฟรีสเพื่อใช้วิเคราะห์ในระบบแบบแถบกว้างยิ่ง พารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองวัดจริงและบทสรุป

บทที่ 4 กล่าวถึงแบบแผนการทดลองวัดและการทดลองวัดช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง อีกทั้งยังได้กล่าวถึงสายอากาศที่ใช้ในการทดลองวัด พารามิเตอร์ที่สำคัญและแบบจำลองสัญญาณที่ใช้ในการส่งผ่านระบบวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง

บทที่ 5 กล่าวถึงผลการทดลองวัดและการวิเคราะห์ของแบบการทดลองวัดตามที่ได้นำเสนอในบทที่ 4 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้วิเคราะห์ช่องสัญญาณการแพร่กระจายคลื่นวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง แบบจำลองเชิงสถิติและการหาระยะจุดหักมุมของเปลี่ยนแปลงค่าการสูญเสียเชิงวิถีด้วยวิธี Double linear regression model โดยเปรียบเทียบระหว่างวิธีเฟอร์เนลโซนอันดับที่หนึ่งและวิธีประมาณค่าผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยน้อยสุด

บทที่ 6 กล่าวถึงสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

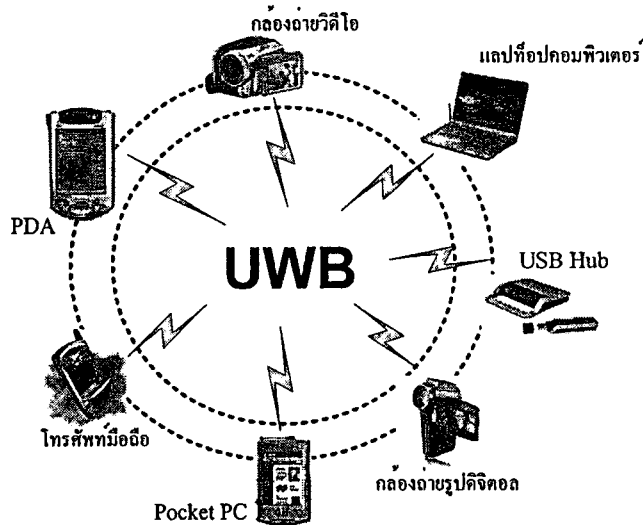
เทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

2.1 กล่าวนำ

ปัจจุบันความต้องการในการเชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ เข้าด้วยกันเพื่อเพิ่มความสะดวกสบายในการใช้งานเริ่มมีสูงขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการเชื่อมต่อโครงข่ายเพื่อความบันเทิงภายในที่พักอาศัย (Home networks), โครงข่ายภายในสำนักงาน (Office networks) หรือโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคล (Personal area networks; PANs) อาทิเช่น กล้องถ่ายรูปดิจิทัล, กล้องถ่ายวิดีโอ, วิดีโอโปรเจกเตอร์, เครื่องปริ้นเตอร์, เครื่องสแกนเนอร์, แล็ปท็อปคอมพิวเตอร์ ฯลฯ โดยมีเทคโนโลยีไร้สายที่นิยมใช้เพื่อเชื่อมต่ออุปกรณ์ดังกล่าวประกอบด้วย Wi-Fi, Bluetooth และเทคโนโลยีสื่อสารระยะสั้น ถึงกระนั้นแล้วปัจจุบันนี้ได้เกิดกระแสความสนใจเกี่ยวกับเทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งซึ่งเข้ามามีบทบาทต่อระบบการสื่อสารข้อมูลครั้งใหญ่ด้วยความสามารถที่มีอัตราการเชื่อมต่อข้อมูลที่สูงประมาณ 110 Mbps ภายในระยะทาง 10 เมตร และ 480 Mbps ภายในระยะทาง 2 เมตร, ราคาต้นทุนในการสร้างต่ำ, มีกำลังงานในการส่งต่ำ และสามารถรองรับผู้ใช้งานได้จำนวนมากเหนือกว่าเทคโนโลยีเดิมอย่าง Wi-Fi หรือ Bluetooth อย่างเห็นได้ชัด อีกทั้งในการใช้งานจริงเทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้ 2 โหมด (Mode) เมื่อเราแบ่งตามอัตราการส่งข้อมูล คือ โหมดอัตราการส่งข้อมูลสูง (High data rate; HDR) ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.3a หมายถึงมีอัตราการส่งข้อมูลเกินกว่า 100 Mbps ในระยะทางใกล้ อีกโหมดคือโหมดอัตราการส่งข้อมูลต่ำ (Low data rate; LDR) ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4a หมายถึงมีอัตราการส่งข้อมูลลดลงเพื่อเพิ่มระยะทางการสื่อสารให้ไกลขึ้น ตัวอย่างการนำเทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานแสดงตามรูปที่ 2.1

คณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาในปัจจุบันได้กำหนดและจำกัดให้ระบบการสื่อสารวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งทำงานบนแถบความถี่ที่ไม่ได้รับอนุญาตตามกฎหมายข้อที่ 15 สำหรับการแพร่กระจายการปล่อยออกมาระยะของความถี่สัญญาณวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งสำหรับการสื่อสารแบบไร้สาย มีย่านความถี่ตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ซึ่งมีแบนด์วิดท์เท่ากับ 7.5 GHz แบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนมากกว่าหรือเท่ากับ 0.2 ของความถี่กลางหรือมีแบนด์วิดท์มากกว่าหรือเท่ากับ 500 MHz ความหนาแน่นของสเปกตรัมกำลังงานส่งต่อความถี่ในการส่งสัญญาณของการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งไม่เกิน -41.3 dBm/MHz เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการรบกวนกับระบบการสื่อสารแบบแคบ (Narrow band) ที่มีอยู่ในปัจจุบัน เครื่องส่งวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งจะทำการส่งพัลส์ที่มีแบนด์วิดท์กว้างและเครื่องรับวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งจะเก็บพลังงานของ

สัญญาณที่รับมาได้ สำหรับการสร้างพัลส์ใหม่อีกครั้ง เนื่องจากระดับความหนาแน่นสเปกตรัมของกำลังงานที่ส่งมาบางที่อาจต่ำกว่าระดับสัญญาณรบกวนหรือว่าระบบอื่น ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลว่าเทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยังสามารถนำมาใช้งานได้กับเทคโนโลยีคลื่นวิทยุอื่นโดยจะมีการแทรกสอดน้อย



รูปที่ 2.1 การประยุกต์ใช้ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งสำหรับอุปกรณ์ประเภทต่างๆ ในการรับ-ส่งข้อมูล

ในขณะเดียวกันปัจจุบันนี้แล็ปท็อปคอมพิวเตอร์ได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของเราเป็นอย่างมาก ซึ่งสามารถอำนวยความสะดวกได้อย่างมากมาย ยกตัวอย่างเช่น การถ่ายโอนหรือการส่งข้อมูลในรูปแบบไฟล์ภาพหรือไฟล์เสียงต่างๆ, การประชุมโดยใช้ร่วมกับวิดีโอ และอื่นๆอีกมากมาย การเชื่อมต่อเทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งกับแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์จะอยู่ในรูปของชิปหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่อยู่ภายในเครื่องคอมพิวเตอร์นั้นๆ โดยจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อและถ่ายโอนข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ที่ต้องการความเร็วสูงเพื่ออำนวยความสะดวกในการสื่อสารและใช้งานต่อไป

ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้สังเกตเห็นว่ามีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องพิจารณาและศึกษาถึงผลกระทบจากแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์ที่มีผลต่อช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาสาขาอากาศสำหรับการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งหรือนำไปประเมินค่าที่แถบความถี่ย่านอื่นๆในเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งในอนาคตต่อไป ในบทนี้จะกล่าวถึงประวัติและความเป็นมา, ลักษณะเฉพาะ, ข้อกำหนดต่าง ๆ และจุดเด่นของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

2.2 ประวัติและความเป็นมาของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

การสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งมีประวัติย้อนหลังยาวนานเริ่มตั้งแต่ ค.ศ. 1880 โดยนักวิทยาศาสตร์ชื่อเฮิร์ต (Hertz) ได้ทดลองเกี่ยวกับคลื่นวิทยุและต่อมาใน ค.ศ.1900 มาร์โคนี (Marconi) ได้ทดลองสาธิตเครื่องส่งสปาร์กแก๊ป (Spark gap) ซึ่งถูกคิดค้นขึ้นในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 1901-1909 จนกระทั่งนักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส อาร์มสตรอง (Armstrong) ได้มีการทดลองนำระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งมาใช้ จากนั้นตั้งแต่ ค.ศ. 1960 ถึง ค.ศ 1990 ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งได้นำมาใช้ในการสื่อสารเรดาร์และการติดต่อสื่อสารที่ต้องการความปลอดภัยสูงของกองทัพสหรัฐฯ ต่อมาเมื่อเดือนพฤษภาคมปี ค.ศ 2000 ทางคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาได้เชิญชวนให้องค์กรต่างๆ ได้ร่วมแสดงความคิดเห็นและเริ่มตีพิมพ์เอกสารเกี่ยวกับข้อกำหนดต่างๆ ของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งเป็นครั้งแรกโดยข้อบังคับนี้ได้ถูกประกาศออกมาใช้งานเมื่อเดือนกุมภาพันธ์ ค.ศ 2002 ที่ผ่านมา



รูปที่ 2.2 วิวัฒนาการของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

2.3 ลักษณะเฉพาะของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่แตกต่างจากการสื่อสารทางคลื่นความถี่วิทยุแบบอื่นๆ โดยจุดเด่นของระบบแบบแถบกว้างยิ่งก็คือ เป็นระบบการสื่อสารที่ไม่ต้องใช้คลื่นพาหะ (Radio frequency; RF) ที่เป็นสัญญาณไซน์ซุซอยด์ัล (Sinusoidal wave) ในการมอดูเลตเหมือนในระบบการสื่อสารแถบแคบอื่นๆ สัญญาณของระบบแบบแถบกว้างยิ่งจะเป็นสัญญาณพัลส์ (Pulse) โดยจะเป็นพัลส์แคบๆ ขนาดประมาณ 0.2 นาโนวินาที จึงทำให้มีความหนาแน่นของสเปกตรัมกำลังงาน (Power spectral density; PSD) ที่กว้างมาก ดังนั้นจึงแพร่กระจายครอบคลุมช่วงความถี่ได้กว้างในระดับกิกะเฮิร์ต (GHz) และเนื่องด้วยระบบนี้มีแบนด์วิดท์ที่กว้างมากจึงทำให้สามารถที่จะรองรับอัตราการส่งข้อมูลได้สูงและใช้กำลังงานในการส่งต่ำประมาณ 1 มิลลิวัตต์ ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าสัญญาณพัลส์ที่ใช้มีขนาดที่แคบมากจึงทำให้ช่วง

ใช้งาน (Duty cycle) มีค่าต่ำจึงเป็นสาเหตุทำให้ระบบนี้มีการใช้กำลังที่ต่ำลงไปด้วยในรูปที่ 2.3 แสดงให้เห็นถึงระดับความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งโดยเปรียบเทียบกับระบบการสื่อสารแบบแถบแคบ (Narrowband)

2.4 ข้อกำหนดของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ได้ถูกกำหนดขึ้นในการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนั่นก็คือการจัดสรรความถี่ในการใช้งาน ซึ่งได้มีกลุ่มทำงานในสหรัฐอเมริกาได้พยายามทำการถอดถอนการจำกัดของข้อกำหนดในการใช้งานช่วงความถี่ของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งจากกฎข้อบังคับเดิมของคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาโดยกลุ่มทำงานนี้ได้ก่อตั้งขึ้นอย่างเป็นทางการ โดยใช้ชื่อว่า Ultra-Wideband Working Group (UWBWG) เพื่อทำการเจรจาหาข้อตกลงร่วมกับคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาเช่นเดียวกันกับในยุโรปก็ได้มีการหาข้อตกลงการจัดสรรคลื่นความถี่และการแทรกสอดของความถี่วิทยุซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีข้อกำหนดแถบความถี่สำหรับการใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่งในสถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป (European Telecommunications Standards Institute; ETSI) หรือ สหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union; ITU)

2.4.1 กฎข้อบังคับของคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาสำหรับระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

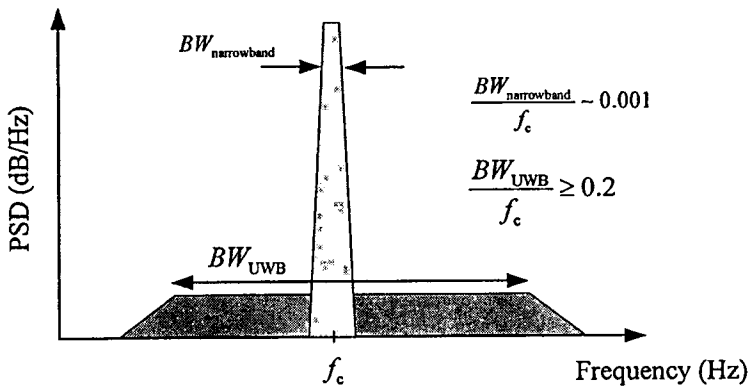
ในปี ค.ศ. 1998 คณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาได้ออกประกาศเกี่ยวกับการตรวจสอบ (Notice of Inquiry; NOI) เนื่องจากมีความเป็นห่วงว่าจะมีผลต่อการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบที่มีอยู่เดิมและระบบความปลอดภัยในกิจการการบินและทิศทางในการค้นคว้าเกี่ยวกับเครื่องส่งในระบบแถบกว้างยิ่งด้วยเช่นกัน ในวันที่ 14 กุมภาพันธ์ ปี ค.ศ. 2002 คณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาได้ออกกฎสำหรับระบบแถบกว้างยิ่งซึ่งเป็นการกำหนดขอบเขตของการแพร่กระจายกำลังงานฉบับที่หนึ่งสำหรับระบบแถบกว้างยิ่ง และยังอนุญาตให้เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในลักษณะทางการค้าอีกด้วย โดยรายงานล่าสุดของคำประกาศและระเบียบการฉบับที่หนึ่งได้เผยแพร่ต่อสาธารณชนในวันที่ 22 เดือนเมษายน ปี ค.ศ. 2002 ซึ่งในเอกสารได้กล่าวถึงการอนุญาตใช้งานในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งและการกำหนดขอบเขตการแพร่กระจายพลังงานสำหรับการใช้ในประเภทต่าง ๆ โดยจากนิยามข้างต้นได้ทำการจำกัดค่าแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วน (B_f) ให้มากกว่าหรือเท่ากับ 0.20 ของความถี่กลาง (f_c) เมื่อวัดระดับจากหน้าฉากความหนาแน่นของสเปกตรัมกำลังงาน (PSD masks) Part 15 limit ลงมา 10 dB สำหรับข้อจำกัดการสื่อสารภายในอาคาร (Indoor limit) และ 20 dB สำหรับข้อจำกัดการสื่อสารในสภาวะภายนอก

อาคาร(Outdoor limit) ตามสมการที่ 2.1 และข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานโดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาได้แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.1 สำหรับใช้ในการสื่อสารข้อมูลทั้งภายในและภายนอกอาคาร

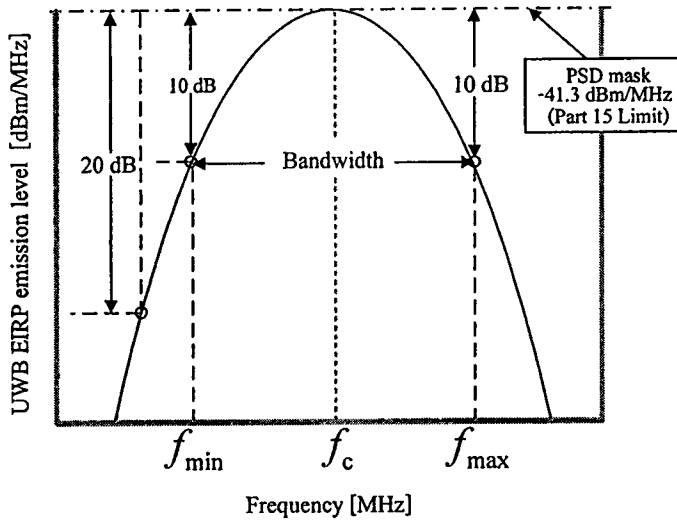
$$B_f = \frac{\text{Bandwidth}}{f_c} = \frac{f_H - f_L}{(f_H + f_L)/2}$$

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

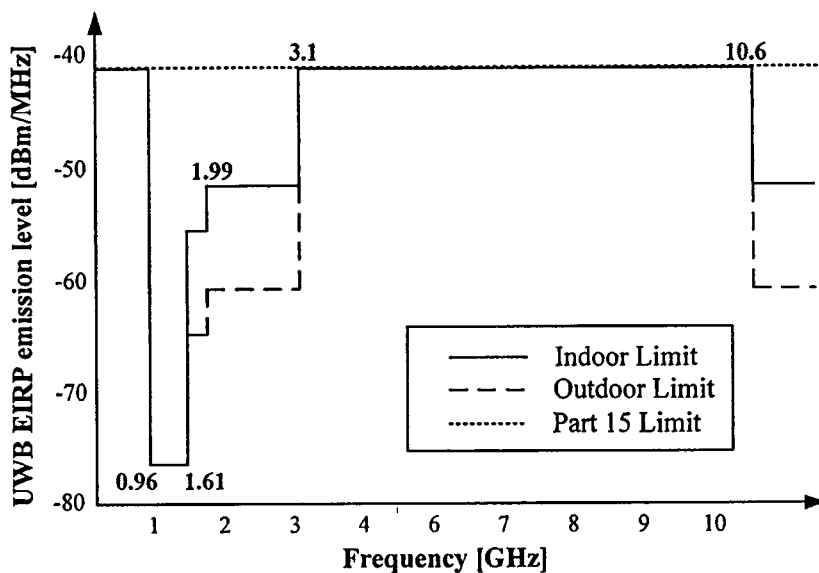
โดยที่ f_L คือ ความถี่ต่ำสุด, f_H คือความถี่สูงสุด และ f_c คือความถี่กลางของแถบความถี่ที่ใช้งานในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง



รูปที่ 2.3 การเปรียบเทียบแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง และระบบการสื่อสารแบบแถบแคบ [3]



รูปที่ 2.4 จุดพิจารณาของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง [3]



รูปที่ 2.5 ความหนาแน่นของสเปกตรัมกำลังงานตามข้อกำหนด FCC part 15 limit
สำหรับการสื่อสารระบบแบบแถบกว้างยิ่งภายในและภายนอกอาคาร [3]

ตารางที่ 2.1 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC สำหรับการใช้งานในระบบการสื่อสาร
ทั้งภายในและภายนอกอาคาร [4]

ความถี่ (MHz)	ภายในอาคาร	ภายนอกอาคาร
	EIRP (dBm/MHz)	EIRP (dBm/MHz)
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

2.4.2 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในยุโรป

ปัจจุบัน โครงร่างของข้อกำหนดระบบแถบกว้างยิ่งในทวีปยุโรปอยู่ในช่วงรอข้อมูลทางเทคนิคที่เกี่ยวกับผลกระทบของระบบแถบกว้างยิ่งบนระบบเดิมที่มีใช้กันอยู่โดยทางยุโรปนั้น บางส่วนของข้อกำหนดจะรอบคอบกว่าของทางสหรัฐอเมริกา เพราะทางด้านยุโรปนั้นในส่วนของเทคโนโลยีใหม่ต้องแสดงให้เห็นว่าส่งผลกระทบน้อยหรือไม่ส่งผลกระทบเสียหายต่อระบบเดิมที่มีอยู่โดยข้อกำหนดการแพร่กระจายกำลังงานสำหรับการใช้งานทั้งภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย ITU หรือ ETSI แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสาร ทั้งภายในและภายนอกอาคาร [4]

	Frequency range [GHz]		
	$f < 3.1$	$3.1 < f < 10.6$	$f > 10.6$
Indoor mask	$-51.3 + 87 \log(f / 3.1)$	-41.3	$-51.3 + 87 \log(f / 10.6)$
Outdoor mask	$-61.3 + 87 \log(f / 3.1)$	-41.3	$-61.3 + 87 \log(f / 10.6)$

โดยในตารางที่ 2.2 และ 2.3 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่ของระบบแถบกว้างยิ่งระหว่าง FCC และ ETSI ภายในและภายนอกอาคารตามลำดับ

ตารางที่ 2.3 ประเภทของการใช้งานที่ได้รับอนุมัติโดย FCC [4]

การประยุกต์การใช้งาน	แถบความถี่ที่ใช้งาน
ระบบการสื่อสารและระบบการวัด	3.1-10.6GHz
ระบบการสร้างภาพและเรดาร์ทะลุพื้น	< 960MHz หรือ 3.1-10.6 GHz
ระบบทะลุกำแพง	< 960MHz หรือ 1.99 - 10.6 GHz
ระบบระแวดระวังภัย	1.99 - 10.6 GHz
ยานพาหนะ	24 - 29 GHz

2.5 จุดเด่นของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

ถ้าจะกล่าวถึงระบบแถบกว้างยิ่งหรือรวมถึงอิมพัลส์ (Impulse) พัลส์แคบ (Short-pulse) สัญญาณที่ไม่ใช่ไซน์ซุชอยด์ัล (Non-sinusoidal) สัญญาณที่ปราศจากคลื่นพาห้ (Carrierless) แถบกว้างยวดยิ่ง (Super wideband) การอัดพัลส์แบบเอฟเอ็มอย่างรวดเร็ว (Fast frequency chirp) และ พัลส์แบบโมโน (Mono-pulse) [3] ซึ่งเป็นระบบที่มีจุดเด่นที่น่าสนใจสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ใน ระบบสื่อสารอาทิเช่น

- เป็นระบบที่มีความซับซ้อนน้อยและมีต้นทุนต่ำ

ความซับซ้อนน้อยและต้นทุนที่ต่ำของระบบแถบกว้างยิ่งเกิดขึ้นจากปัจจัยทางลักษณะเบสแบนด์ (Baseband) ของการส่งสัญญาณซึ่งไม่เหมือนกับระบบการส่งสัญญาณวิทยุแบบอื่นๆ โดยที่เครื่องส่งจะทำการสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณน้อยมากๆ ในโดเมนทางเวลาซึ่งสามารถที่จะแพร่กระจายคลื่นออกไปโดยปราศจากการเพิ่มความถี่วิทยุหรือคลื่นพาห้

รวมเข้าไปและในส่วนของการรวมสัญญาณวิทยุนั้นจะเป็นการนำเอาสัญญาณเบสแบนด์รวมเข้าไปกับคลื่นพาห์เพื่อย้ายสัญญาณไปยังแถบความถี่ที่มีคุณลักษณะในการแพร่กระจายคลื่นตามต้องการ ซึ่งสัญญาณจะถูกแพร่กระจายได้ดีโดยปราศจากความถี่ที่ต้องการในการเพิ่มการแปลงความถี่ให้สูงขึ้น (Up-conversion) และการเพิ่มกำลังให้สูงขึ้น (Amplification) โดยในการแปลงความถี่ลง (Down-conversion) และตัวผลิตความถี่ (Local oscillator) จึงไม่จำเป็นในเครื่องรับแบบแถบกว้างยิ่งด้วยเช่นกันทำให้ลดความซับซ้อนของระบบและต้นทุนในการผลิตลงไปมาก

- มีระดับของสัญญาณใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวน (Noise)

เนื่องจากความหนาแน่นของพลังงานต่ำและลักษณะเฉพาะในการสุ่มเทียม (Pseudo-random) ของสัญญาณส่งจึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนี้มีลักษณะคล้ายกับสัญญาณรบกวน ซึ่งทำให้การตรวจหาสัญญาณทำได้ยากและยังปรากฏในเอกสารทางทฤษฎีว่าการส่งสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนั้น ไม่ก่อให้เกิดผลการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบคลื่นความถี่วิทยุอื่นๆ เนื่องจากสัญญาณของระบบแถบกว้างยิ่งนั้นมีการแพร่กระจายกำลังงานในระดับต่ำประมาณระดับของสัญญาณรบกวน (Noise floor) จึงทำให้ระบบอื่นมองว่าสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนี้คือสัญญาณรบกวนเลยถูกกำจัดออกจากการพิจารณาของระบบ

- มีความต้านทานต่อคลื่นหลายวิถีและการรบกวนของสัญญาณใกล้เคียง

ในระบบการมอดูเลตทางเวลา (Time modulation) แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะทำการส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงในระดับหลักร้อยเมกะบิตต่อวินาทีอีกทั้งยังได้ถูกประเมินในส่วนของจำนวนของผู้ใช้งานในระบบการสื่อสารแบบคลื่นวิทยุแบบอิมพัลส์ว่าได้จำนวนที่มากกว่าระบบทั่วไป และเนื่องด้วยมีแบนด์วิดท์ของสัญญาณส่งที่กว้างจึงทำให้ได้รับผลจากคลื่นหลายวิถีอย่างมาก เมื่อระบบมีแบนด์วิดท์ที่กว้างนั้นทำให้เกิดความแตกต่างทางความถี่อย่างมากซึ่งรวมเข้ากับการส่งสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องจึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งที่มีการมอดูเลตทางเวลานั้นมีความต้านทานต่อการแพร่กระจายของคลื่นหลายวิถีที่รุนแรง และการรบกวนหรือแทรกสอดจากสัญญาณความถี่ใกล้เคียงได้

- มีความละเอียดสูงในโดเมนเวลาสำหรับการกำหนดตำแหน่งและการประยุกต์ใช้ใน ระบบติดตาม (Tracking)

ด้วยพัลส์ที่มีลักษณะทางโดเมนเวลาที่แคบมากๆ หรืออาจกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่าเป็นพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณน้อยมากๆ นั้นหมายถึง ระบบคลื่นวิทยุแบบแถบกว้างยิ่งมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถควบคุมจังหวะและคำนวณเวลาได้อย่างถูกต้องแม่นยำมากกว่าระบบดาวเทียมบอกพิกัด (Global positioning system; GPS) และระบบคลื่นวิทยุแบบอื่นๆ อีกทั้งด้วยคุณสมบัติในการแพร่กระจายผ่านวัสดุได้ดี จึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งที่มีการมอดูเลตทางเวลาถูกนำมาใช้งานในระบบเรดาร์ระยะสั้น เช่น ในการช่วยเหลือชีวิตและปฏิบัติการป้องกันอาชญากรรม เช่นเดียวกับการใช้ในงานสำรวจและในอุตสาหกรรมการทำเหมืองแร่ เป็นต้น

2.6 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงประวัติและความเป็นมาของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันรวมถึงการกำหนดกฎเกณฑ์ในการใช้งาน ข้อบังคับต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นช่วงความถี่ที่ใช้งานซึ่งจะสัมพันธ์กับแบนด์วิดท์ของระบบ ระดับกำลังงานที่แพร่กระจายทั้งภายในและภายนอกอาคาร ที่กำหนดโดยองค์กรที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องอาทิเช่น คณะกรรมการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (FCC) และสถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป (ETSI) หรือสหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (ITU) เป็นต้น อีกทั้งยังกล่าวถึงจุดเด่นของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งที่น่าสนใจและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบการสื่อสารไร้สายอีกด้วย

บทที่ 3

ทฤษฎีการวิเคราะห์ช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์ แบบแถบกว้างยิ่งในสถานะแวดล้อมภายในอาคาร

3.1 กล่าวนำ

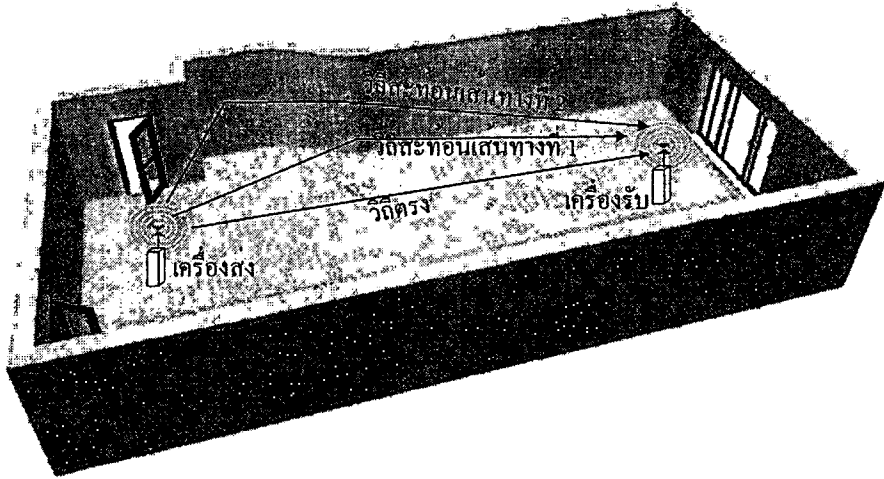
ในบทนี้จะอธิบายถึงทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งในสถานะแวดล้อมภายในอาคารสำหรับระบบสื่อสารแบบไร้สาย โดยมุ่งเน้นในเรื่องของการสะท้อนและการกระจัดกระจายของสัญญาณในระบบแบบแถบกว้างยิ่ง, ทฤษฎีและหลักการการส่งผ่านสัญญาณของฟรีส (Friis' transmission formula), ทฤษฎีของแบบจำลองการสะท้อนบนพื้น (Ground reflection model) หรือแบบจำลองสองวิถี (Two path model), ทฤษฎีการวิเคราะห์เชิงสถิติและพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง เช่นการลดทอนของกำลังงาน ผลการกระจายทางเวลาและความผิดเพี้ยนของสัญญาณ เป็นต้น ซึ่งเนื้อหาทั้งหมดนี้มีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการศึกษาและทำนายช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง

3.2 แบบจำลองช่องสัญญาณหลายวิถีในระบบแบบแถบกว้างยิ่ง

ในเทคนิคการจำลองแบบช่องสัญญาณนั้นจะทำการตรวจสอบแบบจำลองโดยไม่ได้มีลักษณะตรงกันกับระบบแบบแถบกว้างยิ่ง แต่ได้พิจารณาถึงแบบจำลองทั่วไปซึ่งเหมาะสมที่จะนำมาอธิบายถึงหลักการพื้นฐานของการจำลองแบบช่องสัญญาณ อีกทั้งด้วยความสะดวกและง่ายในแบบจำลองสำหรับการแสดงลักษณะเฉพาะของช่องสัญญาณการแพร่กระจายแบบแถบกว้างยิ่ง อาทิเช่น แบบจำลองความไม่ต่อเนื่องทางเวลา (Discrete time), แบบจำลองหลายวิถี (Multipath) หรือแบบจำลองผลตอบสนองอิมพัลส์ เป็นต้น ในส่วนนี้เราได้พิจารณาถึงผลกระทบจากสัญญาณหลายวิถีโดยเฉพาะอย่างยิ่งช่องสัญญาณแบบไร้สายในสถานะแวดล้อมภายในอาคาร ซึ่งเป็นพื้นฐานอย่างหนึ่งของสัญญาณอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งที่เราจะได้อธิบายถึง

สัญญาณหลายวิถีเป็นปรากฏการณ์หนึ่งทางด้านเครื่องรับหลังจากที่มีการส่งผ่านสัญญาณของแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านเส้นทางต่างๆ มากมายไปยังเครื่องรับ จากตัวอย่างรูปที่ 3.1 แสดงถึงการแพร่กระจายคลื่นแบบหลายวิถีซึ่งผลกระทบนี้เกิดจากสาเหตุของการสะท้อน (Reflection), การดูดกลืน (Absorption), การเลี้ยวเบน (Diffraction), การกระจัดกระจาย (Scattering) ของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่กระทบกับวัตถุระหว่างการส่งผ่านสัญญาณจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับ อาทิเช่น

เพดาน, กำแพง, ประตู และหน้าต่าง เป็นต้น และถ้าหากไม่มีวัตถุเหล่านี้การดูดกลืนหรือการสะท้อนของพลังงานที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับคุณลักษณะและคุณสมบัติของสายอากาศที่นำมาใช้งาน



รูปที่ 3.1 แบบจำลองช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งแบบหลายวิถีภายในอาคาร

อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติวัตถุหรือสิ่งของที่เข้ามามีส่วนเกี่ยวข้องกับระหว่างการส่งสัญญาณจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับก็เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการสะท้อน, การดูดกลืน, การเลี้ยวเบนและการกระจัดกระจายของคลื่นทำให้มีเส้นทางหลายวิถีของสัญญาณเกิดขึ้น

3.3 แบบจำลองการสูญเสียเชิงวิถี

การสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) เป็นการลดทอนของสัญญาณที่แปรตามระยะทางระหว่างภาคส่งและภาครับ โดยที่ค่าเฉลี่ยกำลังของสัญญาณจะลดลงตามค่า d^{-n} โดย d คือ ระยะทางระหว่างภาคส่งและภาครับ ส่วน n เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งมีขนาดแตกต่างกันไปตามสภาพของบริเวณที่สัญญาณส่งผ่าน [10] โดยค่าการสูญเสียเชิงวิถีนั้นอาจจะเกิดขึ้นเนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น

3.3.1 การสูญเสียในอวกาศว่าง (Free space path loss)

ในระบบสื่อสารไร้สายสัญญาณที่กำเนิดขึ้นจากภาคส่งที่จะต้องนำไปป้อนเข้าสายอากาศเพื่อแปลงสัญญาณไฟฟ้าไปเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic wave) สำหรับแพร่กระจายผ่านช่องสัญญาณซึ่งโดยทั่วไปก็คืออากาศ เมื่อสัญญาณเดินทางมาถึงภาครับก็จะมีสายอากาศรับสัญญาณซึ่งทำหน้าที่กลับกันจากภาคส่ง คือทำการแปลงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากลับไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าอีกครั้ง ในการศึกษาเรื่องการแพร่กระจายคลื่นจะเริ่มพิจารณาจากแหล่งกำเนิดที่มีการแพร่กระจายระดับกำลังงานแบบทุกทิศทาง (Isotropic radiator) ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.2 โดยในการ

ส่งคลื่นสัญญาณผ่านอวกาศว่างนั้น มักจะนิยามให้ค่าการสูญเสียเชิงวิถีในอวกาศว่าง (Free space path loss) มีค่าเป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังงานของสัญญาณที่รับได้ต่อกำลังงานของสัญญาณที่ถูกส่งออกมา ซึ่งมีความสัมพันธ์ตามสมการที่ 3.1 โดยสมการความสัมพันธ์ที่ได้จะเรียกกันทั่วไปว่า สมการการส่งผ่านสัญญาณของฟรีส (Friis' transmission equation) [11]

$$P_r = P_t G_t G_r G_f \quad (3.1)$$

$$G_f = \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (3.2)$$

โดยที่

- P_r เป็นกำลังงานของสัญญาณที่รับได้
- P_t เป็นกำลังงานของสัญญาณที่ส่งออกมา
- G_t เป็นอัตราการขยายของสายอากาศด้านส่ง (Tx)
- G_r เป็นอัตราการขยายของสายอากาศด้านรับ (Rx)
- G_f เป็นอัตราการขยายของการแพร่กระจายในอวกาศว่าง (ซึ่งจะน้อยกว่าหน่วยในการปฏิบัติจริง)
- λ เป็นค่าความยาวคลื่น ซึ่ง $\lambda = \frac{c}{f}$
โดยที่ c คือ ค่าความเร็วแสง (3×10^8 m/s)
 f คือ ค่าความถี่ของสัญญาณ (Hz)
- d เป็นระยะห่างระหว่างสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับ (m)

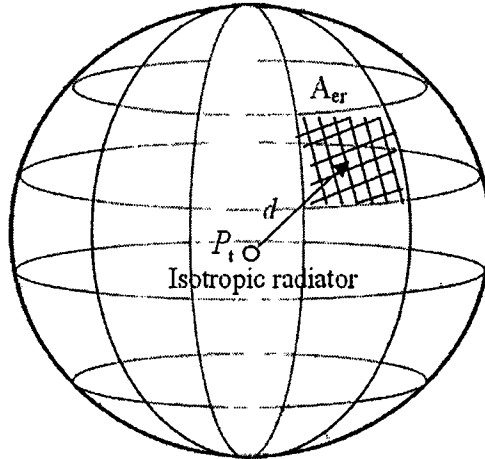
ค่าการสูญเสียกำลังงานของสัญญาณในอวกาศว่างโดยทั่วไปแล้วจะคิดค่าเป็นหน่วยของเดซิเบล (dB) ซึ่งมีความเท่ากับ

$$\begin{aligned} L_{dB} &= 10\log(P_t) - 10\log(P_r) \\ &= 32.44 + 20\log(f) + 20\log(d) - 10\log(G_t) - 10\log(G_r) \quad (\text{dB}) \end{aligned} \quad (3.3)$$

โดยที่ d มีหน่วยเป็นเมตร (m) และ f มีหน่วยเป็นเมกะเฮิรตซ์ (MHz) จากสมการนี้จะเห็นได้ว่า ค่าการสูญเสียของสัญญาณจะเพิ่มตามระยะทางและค่าความถี่ของคลื่นสัญญาณ จากรูปที่ 3.2 ถ้า P_t จุดกำเนิดกำลังงาน (Point source) แล้วความหนาแน่นกำลังงานของสัญญาณที่ตำแหน่งห่างออกไป d จะมีความเท่ากับ

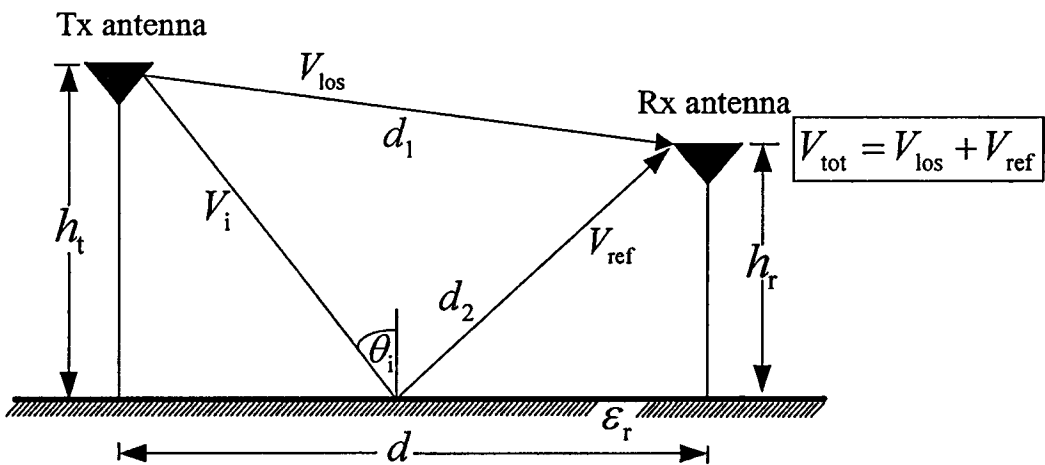
$$p(d) = \left(\frac{P_t}{4\pi d} \right)^2 \quad \text{วัตต์/ตารางเมตร} \quad (3.3)$$

โดยที่ $4\pi d^2$ คือ พื้นผิวของทรงกลมที่มีรัศมีเท่ากับ d



รูปที่ 3.2 แหล่งกำเนิดสัญญาณแบบทุกทิศทาง [3]

3.4 แบบจำลองทฤษฎีการสะท้อนจากพื้น



รูปที่ 3.3 แบบจำลองการสะท้อนจากพื้นสำหรับวิเคราะห์ช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง [3]

จากรูปที่ 3.3 แสดงถึงแบบจำลองการสะท้อนจากพื้นผิวหรือแบบจำลองสองวิถีเป็นแบบจำลองที่พิจารณาสัญญาณ 2 สัญญาณคือสัญญาณที่มาจากทิศทางตรง (Direct path) เป็นสัญญาณที่เดินทางจากสายอากาศด้านส่งมาถึงสายอากาศด้านรับโดยไม่มีสิ่งกีดขวางหรือทิศทางที่มองเห็นได้และสัญญาณที่มาจากการสะท้อน (Reflection path) เป็นสัญญาณที่เดินทางจาก

สายอากาศด้านส่งมาถึงสายอากาศด้านรับ โดยสัญญาณจะเดินทางกระทบพื้นผิวและสะท้อนกลับมา

โดยสามารถคำนวณหาระยะทางระหว่างสายอากาศด้านส่งกับสายอากาศด้านรับในทิศทางที่มองเห็นได้ (d_1) และระยะทางระหว่างสายอากาศด้านส่งกับสายอากาศด้านรับในทิศทางที่สะท้อนจากพื้น (d_2) ดังสมการที่ 3.10 และ 3.11

$$d_1 = \sqrt{(h_t - h_r)^2 + d^2} \quad (3.10)$$

$$d_2 = \sqrt{(h_t + h_r)^2 + d^2} \quad (3.11)$$

โดย d คือระยะทางระหว่างสายอากาศด้านส่งกับสายอากาศด้านรับ และ h_t , h_r คือความสูงของสายอากาศด้านส่งกับด้านรับ ตามลำดับ

และสามารถคำนวณหาค่ามุมตกกระทบ (θ_i) จากสมการที่ 3.12

$$\theta_i = \tan^{-1}\left(\frac{h_t + h_r}{d}\right) \quad (3.12)$$

ส่วนสัญญาณด้านรับสามารถคำนวณได้จากสัญญาณที่มาจากอวกาศสว่างรวมกับสัญญาณที่สะท้อนมาจากพื้นผิว ดังสมการที่ 3.13

$$V_{\text{tot}} = V_{\text{los}} + V_{\text{ref}} \quad (3.13)$$

โดย V_{tot} คือสัญญาณที่สายอากาศด้านรับตรวจสอบได้ และ V_{los} คือสัญญาณจากทิศทางในระดับสายตา (Line of sight; LOS) และ V_{ref} คือสัญญาณที่สะท้อนจากพื้นผิว ซึ่ง V_{los} สามารถคำนวณได้จากสมการของฟรีส ส่วน V_{ref} สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.14

$$V_{\text{ref}} = \Gamma V_i \quad (3.14)$$

โดย Γ คือค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นผิว (Reflection coefficient of ground) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 3.15

$$\Gamma = \Gamma_v + \Gamma_h \quad (3.15)$$

โดย Γ_v , Γ_h คือค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นผิวในโพลาไรเซชันแนวตั้ง (Vertical polarization) และแนวนอน (Horizontal polarization) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 3.16 และ 3.17

$$\Gamma_v = \frac{-\epsilon_r \sin \theta + \sqrt{\epsilon_r - \cos^2 \theta}}{\epsilon_r \sin \theta + \sqrt{\epsilon_r - \cos^2 \theta}} \quad (3.16)$$

$$\Gamma_h = \frac{\sin \theta - \sqrt{\epsilon_r - \cos^2 \theta}}{\sin \theta + \sqrt{\epsilon_r - \cos^2 \theta}} \quad (3.17)$$

3.5 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

ในการสื่อสารไร้สายนั้นจำเป็นต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับของสัญญาณไม่ว่าจะเป็นระดับของกำลังงาน เวลาประวิงที่เกิดขึ้นหรือความผิดเพี้ยนของรูปสัญญาณที่รับได้เมื่อทำการส่งสัญญาณจากภาคส่งไปยังภาครับ โดยผลที่เกิดขึ้นเหล่านี้จะต้องทำการตรวจสอบเบื้องต้นด้วยวิธีการวัดจากนั้นผลที่ได้จากการวัดหรือที่เรียกว่าข้อมูลดิบ (Raw data) นั้นจำเป็นต้องนำมาวิเคราะห์ตามขั้นตอนต่าง ๆ เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบหรือการเปลี่ยนแปลงดังที่ได้กล่าวไปแล้วโดยในขั้นตอนนี้มีความสำคัญพอ ๆ กับขั้นตอนการวัดซึ่งมีความจำเป็นต้องทำความเข้าใจในพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องและเชื่อถือได้โดยในหัวข้อนี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะพารามิเตอร์ที่สำคัญ ๆ ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองวัดของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ดังนี้

3.5.1 ทฤษฎีการประยุกต์สูตรการส่งผ่านสัญญาณของฟรีส (Extension of Friis' transmission formula) สำหรับระบบการส่งผ่านสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง

ระบบการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เพราะสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการสื่อสารระยะสั้น อัตราการรับส่งข้อมูลที่สูง และเป็นการสื่อสารแบบไร้สายที่มีกำลังส่งต่ำ ในการลดการแทรกสอดที่เกิดขึ้นในระบบวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งจึงคาดหมายนำมาใช้กับสถานะแวดล้อมแบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคารเป็นหลัก

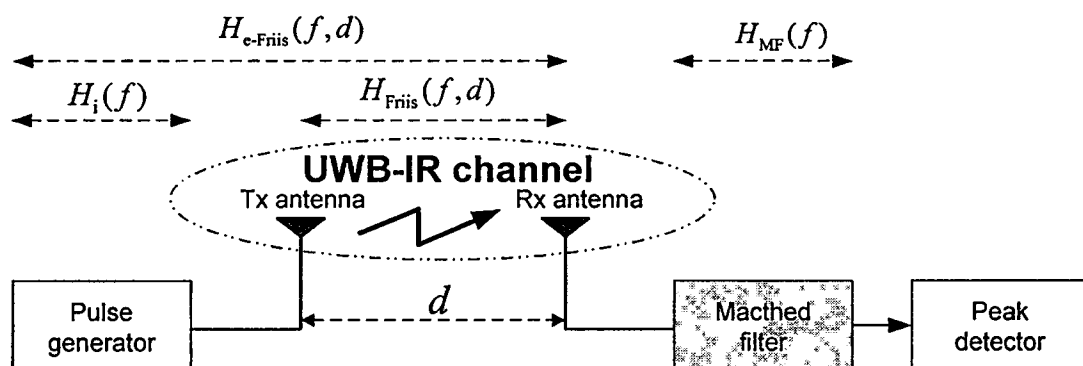
ในระบบแบบแถบแคบค่าลิงค์บัตเจท (Link budget) ของการสูญเสียการแพร่กระจายในอวกาศว่างปกติถูกประเมินค่าโดยสูตรการส่งผ่านสัญญาณของฟรีสดังที่ได้กล่าวมาในข้างต้น [12] แต่เราไม่สามารถที่จะนำมาใช้ได้โดยตรงกับการวิเคราะห์ระบบช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งดังที่มีการแสดงด้วยฟังก์ชันของความถี่ ยิ่งไปกว่านั้นรูปคลื่นอาจเกิดความ

ผิดเพี้ยนเนื่องจากคุณสมบัติความถี่ของสายอากาศ [13] ซึ่งเป็นกรณีพิเศษที่มีอัตราขยายคงที่ และอะเพอร์เจอร์คงที่ แต่ไม่มีการกล่าวถึง ถึงแม้ว่ามีการแนะนำเกี่ยวกับการใช้ความยาวของสายอากาศนี้ในทางโดเมนเวลา

สูตรการส่งผ่านสัญญาณของฟรีสได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางและสามารถประยุกต์ใช้ในการคำนวณสำหรับช่องสัญญาณในระดับสายตาค้างนี้ด้วย จากสมการ

$$G_{\text{Friis}}(f) = \frac{P_r(f)}{P_t(f)} = G_t(f)G_r(f)G_f(f) \quad (3.18)$$

จะสังเกตได้ว่าอย่างไรก็ตามในสมการที่ 3.18 จะมีความเหมาะสมกับค่าความถี่บางช่วงเท่านั้นและไม่สามารถนำมาใช้กับระบบแบบแถบกว้างยิ่งได้โดยตรง สูตรการส่งผ่านสัญญาณของฟรีสได้ถูกนำมาประยุกต์เพื่อใช้ในการพิจารณารูปคลื่นของสัญญาณที่ใช้ส่งผ่านและการผิดเพี้ยนของสัญญาณได้อีกด้วย



รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรมของระบบการส่งผ่านโดยการประยุกต์ใช้สูตรการส่งผ่านสัญญาณของฟรีสในการส่งผ่านสัญญาณสำหรับวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง

สัญญาณอินพุต $v_i(t)$ ที่พอร์ตในด้านส่งสัญญาณจะถูกแสดงได้โดยการคอนโวลูชัน (Convolution) ของสัญญาณอินพุตและวงจกรองรูปร่างของสัญญาณพัลส์ $h_i(t)$ ในขณะที่

$$v_i(t) = E_i \delta(t) * h_i(t) \quad (3.19)$$

เมื่อ

$$\int_{-\infty}^{\infty} h_i^2(t) dt = \int_{-\infty}^{\infty} |H_i(f)|^2 df = 1 \quad (3.20)$$

จึงได้นำการการประยุกต์ของสูตรการส่งผ่านสัญญาณของฟรีสมาประยุกต์ใช้กับรูปคลื่นการส่งผ่าน
ได้ดังนี้

$$H_{e\text{-Friis}}(f, d) = \frac{V_r(f)}{E_i} = H_f(f, d) H_i(f) \mathbf{H}_r(f) \cdot \mathbf{H}_t(f) \quad (3.21)$$

เมื่อ

$H_f(f, d)$ คือ ฟังก์ชันการถ่ายโอนในอวกาศว่าง

$H_i(f)$ คือ ฟังก์ชันการถ่ายโอนของ pulse generation function

$\mathbf{H}_r(f)$ คือ ฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศด้านส่ง

$\mathbf{H}_t(f)$ คือ ฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศด้านรับ

$$\mathbf{H}_a(f) = \mathbf{H}_a(\theta_a, \phi_a, f)$$

$$= \hat{\theta}_a \mathbf{H}_{a\theta}(\theta_a, \phi_a, f) + \hat{\phi}_a \mathbf{H}_{a\phi}(\theta_a, \phi_a, f) \quad (3.22)$$

$a = r$ หรือ t ,

สมการที่ 3.22 เป็นฟังก์ชันของเวกเตอร์ที่ใช้ส่งผ่านแบบจับซ็อนของสายอากาศ และ
สัมพันธ์กับสายอากาศแบบไอโซทรอปิก (Isotropic),

$$H_f(f, d) = \frac{\lambda}{4\pi d} \exp(-jkd) \quad (3.23)$$

สมการที่ 3.23 เป็นฟังก์ชันการส่งผ่านแบบอวกาศว่าง โดย

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (3.24)$$

เป็นค่าคงที่ของการแพร่กระจาย ส่วนเวกเตอร์หนึ่งหน่วย $\hat{\theta}_a, \hat{\phi}_a$ แสดงถึงค่าโพลาไรซ์และเป็นตัว
จำกัดความระบบพิกัด (Coordinates) ของสายอากาศแต่ละตัว จากความสัมพันธ์ที่กล่าวมา สามารถ
แสดงได้ดังนี้

$$\hat{\theta}_r = \hat{\theta}_t \quad (3.25)$$

$$\hat{\phi}_r = -\hat{\phi}_t \quad (3.26)$$

3.5.2 วงจรกรองแบบแมตช์ (Matched filter)

ทางด้านเครื่องรับวงจรกรองแบบแมตช์ $H_{MF}(f)$ จะเป็นตัวที่ทำให้ค่าอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to noise ratio; SNR) ของเอาต์พุตทางด้านเครื่องรับสูงที่สุดดังที่ได้แสดงในรูปที่ 3.4 หาได้จากสมการ

$$H_{MF}(f) = \frac{H_{e-Friis}^*(f)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H_{e-Friis}^*|^2 df}} \quad (3.27)$$

จากสมการที่ได้จะทำให้กำลังงานเอาต์พุตของสัญญาณรบกวนที่ได้มีค่าคงที่ ดังสมการที่ 3.28

$$\int_{-\infty}^{\infty} |H_{MF}(f)|^2 df = 1 \quad (3.28)$$

ในกรณี $E_i = 1$ รูปคลื่นเอาต์พุตและสเปกตรัมของเอาต์พุตด้านเครื่องรับ คือ $h_{e-Friis}(t)$ และ $H_{e-Friis}(f)$ ตามลำดับ รูปคลื่นเอาต์พุตที่ได้จากวงจรกรองแบบแมตช์ $v_{MF}(t)$ และสเปกตรัมของเอาต์พุตที่ได้จากวงจรกรองแบบแมตช์ $V_{MF}(f)$ แสดงดังสมการที่ 3.29 และ 3.30 ตามลำดับ

$$\begin{aligned} v_{MF} &= h_{e-Friis}(t) * h_{MF}(-t) \\ &= \frac{h_{e-Friis}(t) * h_{e-Friis}(-t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} h_{e-Friis}^2(t) dt}} \end{aligned} \quad (3.29)$$

$$\begin{aligned} V_{MF}(f) &= H_{e-Friis}(f) H_{MF}(f) \\ &= \frac{|H_{e-Friis}(f)|^2}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H_{e-Friis}(f)|^2 df}} \end{aligned} \quad (3.30)$$

และสำหรับกรณีแบบไอโซทรอปิก

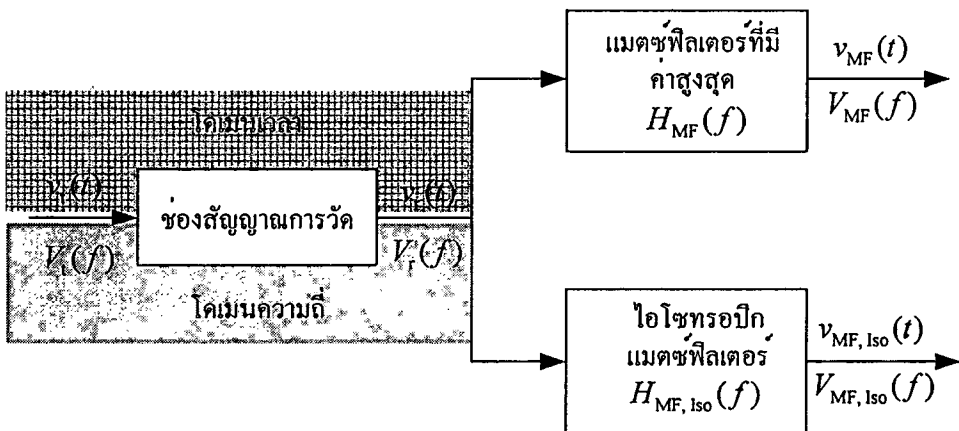
$$V_{MF, Iso}(f) = H_{e-Friis, Iso}(f) H_{MF}(f)$$

$$= \frac{|H_{e\text{-Friis, Iso}}(f)|^2}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H_{e\text{-Friis, Iso}}(f)|^2 df}} \quad (3.31)$$

ซึ่งจะทำให้มีค่าสูงสุด ณ เวลา $t = 0$

$$\begin{aligned} \max_t v_{MF}(t) &= v_{MF}(0) = \int_{-\infty}^{\infty} V_{MF}(f) df \\ &= \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H_{e\text{-Friis}}(f)|^2 df} \end{aligned} \quad (3.32)$$

สมการที่ 3.32 คือ การประยุกต์สูตรการส่งผ่านสัญญาณของฟรีสสำหรับระบบแบบแถบกว้างยิ่งซึ่งประกอบไปด้วยสามส่วน กล่าวคือ คุณสมบัติความถี่ของสายอากาศ, คุณสมบัติความถี่ของการแพร่กระจายในอวกาศว่างและสเปกตรัมของสัญญาณที่ส่ง จากสมการที่ 3.32 เห็นได้ชัดว่า อัตราขยายการส่งผ่านของช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งไม่สามารถที่จะระบุถึงผลคูณของอัตราขยายของสายอากาศและช่องสัญญาณของอวกาศว่างตามสูตรของฟรีสในสมการที่ 3.18 เพราะอัตราขยายการส่งผ่านของช่องสัญญาณโดยรวมจะประกอบไปด้วยผลกระทบจากรูปคลื่น ซึ่งแสดงอยู่ในสมการที่ 3.23



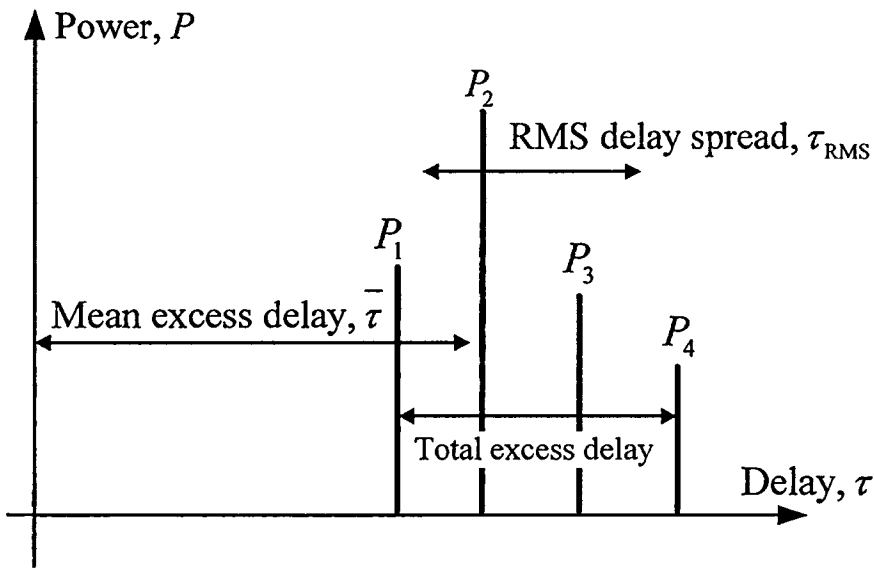
รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมการหาค่าอัตราขยายของช่องสัญญาณการส่งผ่านสำหรับวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง

จากรูปที่ 3.5 สำหรับการนอร์มัลไลซ์เซชันสายอากาศแบบไอโซทรอปิกที่ใช้อ้างอิง ซึ่งจะมีค่า $H_{Iso}(f) = 1$ การหาค่าอัตราขยายการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่งสามารถแสดงดังสมการที่ 3.33

$$G_{UWB} = \frac{\max_t v_{MF}(t)}{\max_t v_{MF, Iso}(t)} \quad (3.33)$$

3.5.3 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน

ในหัวข้อนี้กล่าวถึงพารามิเตอร์อีกตัวหนึ่งที่นิยมนำมาวิเคราะห์เพื่อแสดงให้เห็นถึงระดับกำลังงานของสัญญาณที่เข้ามายังภาครับที่เวลาต่าง ๆ อีกทั้งยังแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของสัญญาณที่มีการสะท้อนในหลายทิศทางหรือที่เรียกว่าสัญญาณหลายวิถี โดยจะเรียกว่า ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน (Power delay profile; PDP) ซึ่งตัวอย่างของ PDP ได้แสดงดังรูปที่ 3.6 โดยจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างระดับกำลังงานของสัญญาณที่รับได้ต่อเวลาที่เข้ามาถึงและนอกจากนั้นยังสามารถนำไปพิจารณาถึงผลการกระจายทางเวลา (Time dispersion) อันประกอบไปด้วย ค่าเฉลี่ยของเวลาประวิง (Mean excess delay) และ ค่าการแผ่ของเวลาประวิง RMS (RMS delay spread) ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน [14]

3.5.3.1 ค่าการกระจายทางเวลา

จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าเส้นทางการแพร่กระจายของสัญญาณระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับมีได้หลายทิศทาง และสัญญาณแต่ละส่วนมักจะส่งผ่านในเส้นทางที่มีระยะทางไม่เท่ากัน สัญญาณบางส่วนอาจจะเดินทางเป็นเส้นตรงระหว่างภาคส่งและภาครับ สัญญาณส่วนนี้มักจะเดินทางถึงภาครับได้เร็ว ในขณะที่สัญญาณส่วนอื่นที่มีการตกกระทบพื้นผิวของวัตถุและเกิดการสะท้อนหลายครั้งกว่าจะเดินทางถึงภาครับ สัญญาณมักจะใช้เวลาการแพร่กระจายที่ยาวนานกว่า ความล่าช้าในการเดินทางของสัญญาณแต่ละส่วนก่อให้เกิดปัญหาที่เรียกว่า การแผ่ประวิง (Delay spread) ขึ้น นั่นคือสัญญาณแต่ละส่วนใช้เวลาเดินทางถึงจุดหมายไม่เท่ากัน ในหัวข้อนี้ได้พิจารณาถึงเวลาที่ถูกลื่อนออกไปของสัญญาณที่เข้ามายังภาครับ ซึ่งในส่วนของผลการกระจายทางเวลานั้น สามารถที่จะวิเคราะห์โดยใช้พารามิเตอร์ที่เรียกว่า ค่าเฉลี่ยของเวลาที่เลื่อนเกินออกไปจาก

ค่าเวลาเดิมหรือค่าเฉลี่ยของเวลาประวิง ($\bar{\tau}$) และค่าการแผ่ของเวลาประวิง RMS (τ_{RMS}) ซึ่งค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 ตัวนี้ถูกนิยามไว้ดังสมการที่ 3.34 และ 3.35 ตามลำดับ

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i^2 \tau_i}{\sum_{i=1}^n a_i^2} = \frac{\sum_{i=1}^n P(\tau_i) \tau_i}{\sum_{i=1}^n P(\tau_i)} \quad (3.34)$$

โดยที่

- a_i คือ ขนาดของสัญญาณเส้นทางที่ i
- τ_i คือ เวลาประวิงที่เกิดขึ้นของสัญญาณเส้นทางที่ i
- $P(\tau_i)$ คือ กำลังงานของสัญญาณเส้นทางที่ i

สำหรับค่าการแผ่ของเวลาประวิงนั้นจะนิยามคือ

$$\tau_{\text{RMS}} = \sqrt{\tau^2 - (\bar{\tau})^2} \quad (3.35)$$

โดยที่

$$\tau^2 = \frac{\sum_{i=1}^n a_i^2 \tau_i^2}{\sum_{i=1}^n a_i^2} = \frac{\sum_{i=1}^n P(\tau_i) \tau_i^2}{\sum_{i=1}^n P(\tau_i)} \quad (3.36)$$

3.5.4 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss)

ในระบบการสื่อสารไร้สายนั้นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการวิเคราะห์ช่องสัญญาณการแพร่กระจายคลื่น คือการคาดการณ์ถึงค่าความสูญเสียกำลังงานของสัญญาณ PL เนื่องจากการแพร่กระจายผ่านช่องสัญญาณโดยพิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างระดับกำลังงานที่ใช้ส่งและระดับกำลังงานที่รับได้ซึ่งโดยทั่วไปมักจะแสดงให้อยู่ในหน่วยของเดซิเบล (Decibel; dB) แสดงในสมการที่ 3.37

$$PL [dB] = 20 \log \left(\frac{v_t(t)}{v_r(t)} \right) \quad (3.37)$$

โดยที่

- $v_t(t)$ คือ ระดับสัญญาณที่ใช้ส่ง
- $v_r(t)$ คือ ระดับสัญญาณที่รับได้

โดยการวิเคราะห์การสูญเสียของกำลังงานในระบบแบบแถบกว้างยิ่ง PL_{UWB} นั้นจะพิจารณาที่ กำลังงานสูงสุดของสัญญาณที่ส่งและกำลังสูงสุดของสัญญาณที่รับได้ซึ่งเป็นฟังก์ชันของ ระยะทาง (d) โดยมีนิยามเป็นไปตามสมการที่ 3.38 และ 3.39 ตามลำดับ

$$PL_{UWB}(d) [dB] = 20 \log \left(\frac{\max |v_t(t)|}{\max |v_r(t)|} \right) \quad (3.38)$$

โดยในสมการที่ 3.27 ได้กำหนดให้ขนาดของสัญญาณที่ส่งมีค่าเท่ากับ 1 ดังนั้นสามารถจัด สมการใหม่ได้ดังนี้

$$PL_{UWB}(d) [dB] = -20 \log (\max |v_r(t)|) \quad (3.39)$$

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้หาค่าความสูญเสียเชิงวิถีของช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุ อิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งที่มีสายอากาศติดอยู่กับแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์ตามระยะทางในแต่ละ ตำแหน่งบนโต๊ะประชุมภายในสถานะแวดล้อมภายในอาคาร โดยได้นำแบบจำลองการสะท้อนพื้น มาพิจารณาดังสมการที่ 3.40

$$\overline{PL}(d) [dB] = PL(d_0) + 10n \log \left(\frac{d}{d_0} \right); \quad d \geq d_0 \quad (3.40)$$

โดยที่

d_0 คือ ระยะทางที่อ้างอิง

n คือ ค่า path loss exponent

d คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศด้านส่งกับสายอากาศด้านรับ

3.5.5 ระยะจุดหักมุม

การหาค่าระยะจุดหักมุมจะบ่งบอกถึงการลดทอนของสัญญาณในช่องสัญญาณแบบแถบ กว้างยิ่งได้โดยระยะทางระหว่างสายอากาศด้านส่งและด้านรับอยู่ในระยะก่อนถึงระยะจุดหักมุมจะ พบว่าค่าการลดทอนของสัญญาณที่เกิดขึ้น จะเหมือนกับค่าการลดทอนของสัญญาณที่เกิดขึ้นใน อวกาศว่าง และถ้าระยะทางระหว่างสายอากาศด้านส่งและด้านรับมากกว่าระยะของจุดหักมุมจะ พบว่าค่าการลดทอนของสัญญาณที่เกิดขึ้นจะมีมากกว่าค่าการลดทอนของสัญญาณที่เกิดขึ้นใน

อวกาศว่าง ซึ่งในการหาระยะของจุดหักมุมจะใช้วิธีการหาแบบ Double linear regression model โดยพิจารณาด้วยกันสองวิธี ดังนี้

- วิธีแรกจะหาจากสมการของเฟอ์เนลโซนอันดับที่หนึ่ง (First Fresnel zone) ตามสมการ

$$d_f = \frac{1}{\lambda} \sqrt{(\Sigma^2 - \Delta^2)^2 - 2(\Sigma^2 - \Delta^2) \left(\frac{\lambda}{1}\right)^2 + \left(\frac{\lambda}{1}\right)^4} \quad (3.41)$$

โดยที่ $\Sigma = h_t + h_r$ และ $\Delta = h_t - h_r$

ดังนั้นสมการความสูญเสียเชิงวิถีตามสมการของเฟอ์เนลโซนอันดับที่หนึ่ง คือ

$$PL_1(d) [dB] = \begin{cases} PL(d_f) + 10n_1 \log\left(\frac{d}{d_f}\right); & d_0 < d < d_f \\ PL(d_f) + 10n_2 \log\left(\frac{d}{d_f}\right); & d > d_f \end{cases} \quad (3.42)$$

- วิธีการที่สองใช้วิธีประมาณค่าผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยน้อยสุด (Minimum mean square error; MMSE) โดยนำค่าผิดพลาดของกลุ่มข้อมูลแต่ละช่วงมารวมกัน หลังจากรวมค่าผิดพลาดของแต่ละกลุ่มข้อมูลหมดแล้วเราจะพิจารณาเลือกตำแหน่งของข้อมูลที่ได้ค่าผิดพลาดที่น้อยที่สุด ซึ่งจะได้ระยะจุดหักมุมออกมาตามสมการ

$$PL_2(d) [dB] = \begin{cases} PL(d_b) + 10n_1^* \log\left(\frac{d}{d_b}\right); & d_0 < d < d_b \\ PL(d_b) + 10n_2^* \log\left(\frac{d}{d_b}\right); & d > d_b \end{cases} \quad (3.43)$$

3.5.6 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient)

ในการตรวจสอบหาความผิดเพี้ยนของรูปสัญญาณที่รับได้นั้นสามารถวิเคราะห์และแสดงให้เห็น โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ดังแสดงนิยามตามสมการที่ 3.44 ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าสูงสุดของค่าสหสัมพันธ์ข้าม (Cross correlation) ที่เป็นฟังก์ชันของสัญญาณส่งและสัญญาณที่รับได้กับค่าสูงสุดของค่าสัมบูรณ์รากที่สองของผลคูณระหว่างค่าอัตสหสัมพันธ์

(auto correlation) ของสัญญาณส่งและสัญญาณที่รับได้โดยสมการที่นิยามถึงค่าดังกล่าวแสดงให้เห็นตามสมการที่ 3.45 ถึงสมการที่ 3.46 ตามลำดับ

$$\rho(d) = \frac{\max |r_{ab}(\tau)|}{\max \sqrt{r_a(\tau)r_b(\tau)}} \quad (3.44)$$

โดยสมการที่นิยามค่าสหสัมพันธ์ข้าม คือ

$$r_{ab} = \int_{-\infty}^{\infty} v_i(\tau)v_r(t+\tau) dt \quad (3.45)$$

และสมการที่นิยามค่าอัตสหสัมพันธ์ คือ

$$r_a = \int_{-\infty}^{\infty} v_i(\tau)v_i(t+\tau) dt \quad (3.46)$$

$$r_b = \int_{-\infty}^{\infty} v_r(\tau)v_r(t+\tau) dt \quad (3.47)$$

โดยที่

$v_i(t)$ คือ สัญญาณส่ง

$v_r(t)$ คือ สัญญาณที่รับได้

3.5.7 อัตราความผิดพลาดบิต (Bit error rate; BER)

พารามิเตอร์อีกตัวหนึ่งที่ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อแสดงให้เห็นถึงระดับอัตราความผิดพลาดบิตที่เข้ามายังภาครับ ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงประสิทธิภาพในการส่งผ่านข้อมูลในแต่ละจุดที่ได้ทำการวิเคราะห์ โดยพิจารณาจากสัมประสิทธิ์การส่งผ่านระหว่างสัญญาณที่รับได้กับค่าสัญญาณที่ใช้ในการส่ง ดังแสดงในสมการที่ 3.48

$$C_c = \frac{\int_0^{\infty} |V_{MF}(f, d)| df}{\int_0^{\infty} |V_r(f, d)|^2 df \cdot \int_0^{\infty} |H_{MF}(f, d)|^2 df} \quad (3.48)$$

วิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้แบบแผนการมอดูเลตแบบขั้วต่างกันซึ่งเป็นการมอดูเลตทางแอมพลิจูดของพัลส์ไบนารี (Bi-phase pulse amplitude modulation; BPAM) ในการวิเคราะห์ช่องสัญญาณการส่งผ่านของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 3.49

$$BER = Q\left[\sqrt{2(E_b/N_0)C_c}\right] \quad (3.49)$$

โดยที่

E_b = พลังงานต่อบิต

C_c = ฟังก์ชันสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

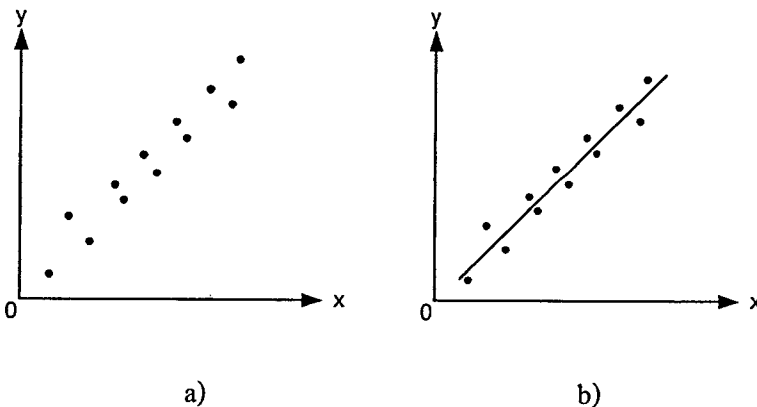
N_0 = ความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของสัญญาณรบกวน

และฟังก์ชัน $Q(x)$ หาได้จาก

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2/2} dt, \quad x \geq 0 \quad (3.50)$$

3.6 การจำลองผลโดยวิธีการประมาณค่าผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยน้อยสุด (Minimum mean square error; MMSE)

ในกรณีที่มีความผิดพลาดในชุดข้อมูลที่ได้ เทคนิคในการประมาณค่าฟังก์ชันที่ใช้แทนชุดข้อมูลนั้นจะใช้การแทนค่าแนวโน้มกว้าง ๆ ของข้อมูลโดยฟังก์ชันที่ใช้ประมาณนั้นไม่จำเป็นต้องทับกับข้อมูลทุกจุดดังในรูปที่ 3.7 โดยการได้มาซึ่งฟังก์ชันที่ใช้แทนชุดข้อมูลนั้นอาจทำได้โดยการวาดเส้นที่คิดว่าดีที่สุดในการใช้แทนจุดข้อมูลนั้น แต่วิธีการนี้ไม่มีข้อพิสูจน์ว่าเส้นที่วาดขึ้นมานั้นเป็นฟังก์ชันที่ดีที่สุดสำหรับแทนชุดข้อมูลนั้นด้วยเหตุนี้จึงมีอีกวิธีหนึ่งที่เรียกว่า Least-squares regression โดยแนวคิดของวิธีนี้คือ การลดค่าความแตกต่างระหว่างข้อมูลแต่ละจุดกับค่าฟังก์ชัน [10]



รูปที่ 3.7 a) ชุดข้อมูล b) ฟังก์ชันที่ใช้แทนค่าชุดข้อมูลโดยคำนึงถึงแนวโน้มรวม

ตัวอย่างที่ง่ายที่สุดของวิธี Least-square regression คือการแทนค่าชุดข้อมูล $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ ด้วยเส้นตรงที่เรียกว่า Linear regression โดยเขียนเป็นสมการคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$y = a_0 + a_1x + e \quad (3.51)$$

เมื่อ a_0 และ a_1 เป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่แสดงจุดตัดแกนและความชัน
 e เป็นค่าความผิดพลาดหรือเศษเหลือระหว่างค่าฟังก์ชันและข้อมูลจริง (Root mean square error)

โดยเงื่อนไขของการหาฟังก์ชันที่ดีที่สุดคือ

$$1. \sum_{i=1}^n e_i = \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1x_i) \quad (3.52)$$

เมื่อ n แทนจำนวนข้อมูลทั้งหมด

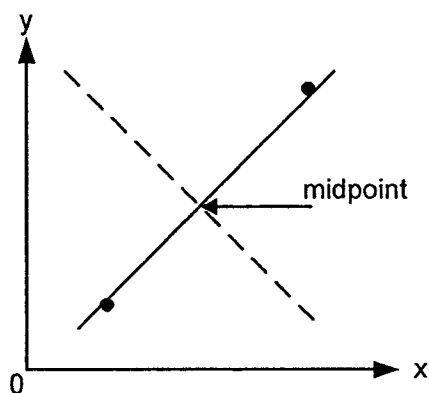
เงื่อนไขนี้ยังไม่เพียงพอสำหรับฟังก์ชันที่ใช้แทนข้อมูลจำนวนสองจุด ดังแสดงในรูปที่ 3.8 โดยเส้นใด ๆ ที่ผ่านจุดกึ่งกลางระหว่างจุดสองจุดก็ทำให้ค่าต่ำสุดของเงื่อนไขในข้อที่หนึ่งเป็นศูนย์เพราะว่าค่าผิดพลาดหักล้างกันพอดี

$$2. \sum_{i=1}^n |e_i| = \sum_{i=1}^n |y_i - a_0 - a_1x_i| \quad (3.53)$$

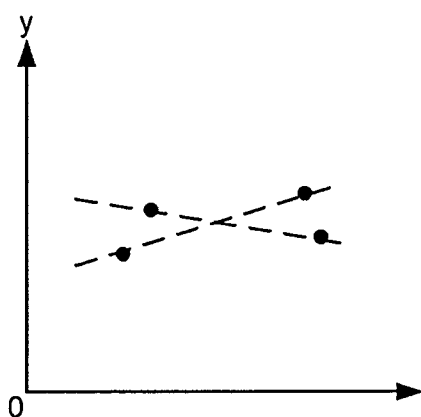
เงื่อนไขนี้ก็ยังไม่เพียงพอสำหรับฟังก์ชันที่ใช้แทนข้อมูลจำนวนสี่จุด ดังแสดงในรูปที่ 3.9 โดยเส้นตรงใด ๆ ที่อยู่ระหว่างเส้นประสองเส้นนี้จะทำให้เงื่อนไขในข้อสองมีค่าต่ำสุด

$$3. S_r = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_{i,\text{measured}} - y_{i,\text{model}})^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1x_i)^2 \quad (3.54)$$

เงื่อนไขที่ 3 นี้เรียกว่า Minimum criterion ซึ่งเหมาะสมสำหรับใช้กับฟังก์ชันง่าย ๆ โดยข้อดีของการใช้เงื่อนไขในการหาฟังก์ชันเพื่อแทนชุดข้อมูลก็คือ จะได้ฟังก์ชันเดียวแน่นอนอนในการแทนชุดข้อมูล



รูปที่ 3.8 เส้นที่ใช้แทนชุดข้อมูลที่มีสองจุดได้โดยให้เงื่อนไขในข้อหนึ่งมีค่าน้อยที่สุด



รูปที่ 3.9 เส้นที่ใช้แทนชุดข้อมูลที่มีสี่จุดได้โดยเงื่อนไขในข้อสองมีค่าน้อยที่สุด

เงื่อนไขที่สามนำมาหาฟังก์ชันเส้นตรงที่ใช้แทนชุดข้อมูลได้โดยการนำมาหาค่าอนุพันธ์เทียบกับ a_0 และ a_1 ดังนี้

$$a_1 = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad \text{และ} \quad a_0 = \bar{y} - a_1 \bar{x} \quad (3.55)$$

เมื่อ \bar{x} และ \bar{y} คือค่าเฉลี่ยของ x และ y ตามลำดับ

โดยที่ค่าความผิดพลาดระหว่างค่าของฟังก์ชันและข้อมูลจริงนั้นสามารถหาได้จาก

$$e = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (y_j - a - bx_j)^2} \quad (3.56)$$

สมมติฐานทางสถิติสำหรับข้อมูลที่ใช้กับวิธี Linear regression คือ

1. ค่า x เป็นข้อมูลที่แน่นอนไม่ใช่ค่าที่สุ่มมาและไม่คิดพลาด
2. ค่า y เป็นค่าที่มีความแปรปรวนแน่นอนและไม่ขึ้นอยู่กับค่าอื่น
3. ค่า y สำหรับแต่ละค่าของ x มีการกระจายแบบปกติ

3.7 แบบจำลองเชิงสถิติ

3.7.1 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น (Probability density function; PDF)

เป็นการพิจารณาที่ระบุถึงความเป็นไปได้ของการเกิดการสูญเสียของสัญญาตามแถบความถี่กว้างยิ่งในรูปแบบของความน่าจะเป็นในบริเวณแบบจำลองที่ได้กำหนดเอาไว้กับแต่ละตำแหน่งการสูญเสียเชิงสถิติโดยแสดงได้จากสมการที่ 3.57

$$f_x(x) = \frac{d}{dx} P\{X \leq x\} \quad (3.57)$$

เมื่อ p = ความน่าจะเป็นที่จะเกิดขึ้น
 X = ตำแหน่งที่มีการสูญเสียเชิงสถิติ
 x = ค่าของการสูญเสียเชิงสถิติ

3.7.2 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นสะสม (Cumulative Distribution Function; CDF)

เป็นค่าที่แสดงควบคู่กับฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น โดยจะเป็นส่วนกลับกันเพื่อให้เห็นถึงค่าความน่าจะเป็นสะสม ทำให้โดยการอินทิเกรตฟังก์ชัน PDF จะได้ความหนาแน่นความน่าจะเป็นที่ตัวแปรสุ่ม X มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าที่กำหนด x ซึ่งจะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์เสมอและมีพื้นที่ใต้กราฟทั้งหมดเท่ากับหนึ่ง

ฟังก์ชัน PDF จะมีความสัมพันธ์กับตัวแปรสุ่มผ่านทางค่าเฉลี่ย μ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์เป็น

$$\mu = \int_{-\infty}^{\infty} x f_x(x) dx$$

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (3.58)$$

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu)^2 f_x(x) dx} \\ &= \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}\end{aligned}\quad (3.59)$$

3.7.3 การทดสอบไคกำลังสอง (Chi Square Test)

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้พิจารณาใช้วิธีการทดสอบไคกำลังสองเพื่อหาแบบจำลองเชิงสถิติที่เหมาะสมของข้อมูลที่ได้จากการทดลองวัด ซึ่งจะนิยามให้ค่าผิดพลาด q ของการทดสอบไคกำลังสองเป็นผลรวมทั้งหมด N ช่วงของผลต่างกำลังสองระหว่างความถี่ของข้อมูลที่เกิดขึ้น k กับความถี่ที่เกิดขึ้นซึ่งได้จากแบบจำลองเชิงสถิติที่ใช้ทดสอบ m ถ่วงน้ำหนักด้วยความถี่ที่เกิดขึ้นซึ่งได้จากแบบจำลองเชิงสถิติที่ใช้ทดสอบในช่วงที่ i ซึ่งสามารถเขียนเป็นนิพจน์ทางคณิตศาสตร์ได้

$$q = \sum_{i=1}^N \frac{(k_i - m_i)^2}{m_i} \quad (3.60)$$

โดยที่แบบจำลองเชิงสถิติที่ทำให้เกิดค่า q น้อยที่สุด จะถูกเลือกมาเป็นแบบจำลองเชิงสถิติที่ใช้แสดงข้อมูลที่กำลังพิจารณาอยู่ ซึ่งแบบจำลองเชิงสถิติทั้งหมดที่นำมาทำการทดสอบไคกำลังสองจะใช้วิธีการกระจายแบบปกติ (Normal distribution) ซึ่งจะมีฟังก์ชัน PDF นิยามเป็น

$$f_x(x) = \frac{e^{-(x-\mu)^2/(2\sigma^2)}}{\sigma\sqrt{2\pi}} \quad (3.61)$$

เมื่อ μ และ σ เป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานตามลำดับ

3.8 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งในสถานะแวดล้อมภายในอาคาร เช่น แบบจำลองการสูญเสียหลายวิถีและการสะท้อนพื้น ทฤษฎีสูตรการส่งผ่านสัญญาณของฟรีสและการประยุกต์สูตรการส่งผ่านสัญญาณของฟรีสในระบบแบบแถบกว้างยิ่ง เป็นต้น จากนั้นพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับช่องสัญญาณจะถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ถึงผลที่เกิดขึ้น อาทิเช่น ผลการลดทอนของกำลังงาน, การคิดเพี้ยนของรูปสัญญาณ, ผลการกระจายทางเวลา ซึ่งพารามิเตอร์เหล่านี้จะแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงต่างๆ อันเนื่องด้วยผลกระทบจากปัจจัยคงที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้น ในลำดับต่อมาผลที่ได้จากการทดลองวัดจะถูกจำลองด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า Double linear regression model ซึ่ง

เปรียบเทียบระหว่างวิธีการประมาณค่าการถดถอยของกำลังสองแบบเชิงเส้นที่น้อยที่สุด (Linear Least-Squares Regression) และวิธีเฟอร์เนลโซนอันดับที่หนึ่งเพื่อหาระยะของจุดหักมุม และใช้แบบจำลองทางสถิติเพื่อหาค่าความหนาแน่นที่น่าจะเป็น (PDF) และความหนาแน่นที่น่าจะเป็นสะสม (CDF) ของแบบจำลองการวัดที่จะได้กล่าวถึงในบทต่อไป

บทที่ 4

แบบแผนการทดลองวัดและการทดลองวัดช่องสัญญาณ การแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง

4.1 กล่าวนำ

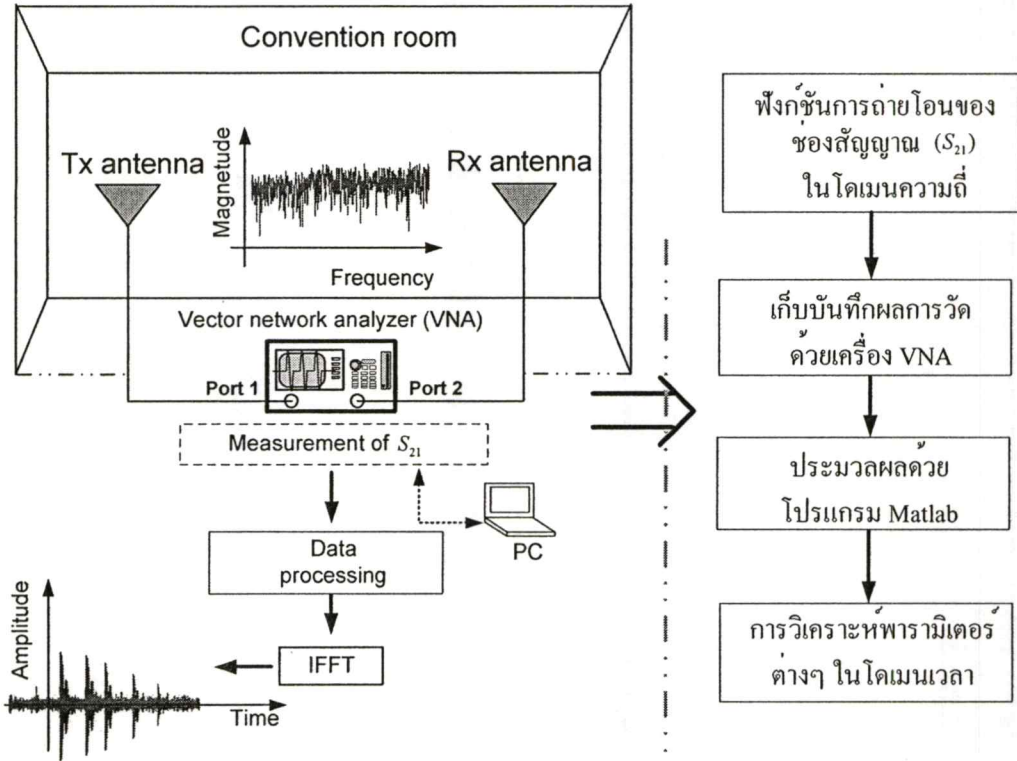
ในบทนี้กล่าวถึงแบบแผนที่ใช้ในการทดลองวัดและการทดลองวัดช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งในห้องประชุมของภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ ตึก E ชั้น 12 ห้อง E12-1207 คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาคูสมบัติของสัญญาณที่ส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งในสถานะแวดล้อมภายในอาคาร จากที่ได้กล่าวในบทที่ 2 จะเห็นได้ว่าการนำระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานภายในอาคารสำหรับระบบการสื่อสารไร้สาย โดยทั่วไปเส้นทางที่คลื่นหลังจากมีการแพร่กระจายออกจากสายอากาศทางด้านส่งจะเกิดการหักเห, กระจาย และสะท้อนกับวัตถุต่างๆ ที่อยู่รอบๆ ก่อนที่จะเดินทางมาถึงสายอากาศทางด้านรับ ดังนั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทำการศึกษาและประเมินค่าคุณลักษณะของช่องสัญญาณที่ใช้ในการส่งผ่านที่มีผลกระทบอันเนื่องมาจากการเกิด multipath ภายในสถานะแวดล้อมภายในอาคาร

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้พิจารณาถึงผลกระทบของแถบที่ออปคอมพิวเตอรส์ที่มีต่อช่องสัญญาณการส่งผ่านของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง โดยพิจารณาถึงหลักการประยุกต์ใช้งานจริงสำหรับการประชุมหรือการสอนผ่านระบบวิดีโอ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายวัดและเก็บบันทึกข้อมูลฟังก์ชันการถ่ายโอน (S_{21}) ของช่องสัญญาณบนโดเมนความถี่ที่ได้จากการทดลองวัดแต่ละแบบที่ได้จำลองไว้ จากนั้นจะนำข้อมูลการวัดที่ได้มาประมวลผลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์วิเคราะห์ตามหลักการทางทฤษฎีและทำการวิเคราะห์ผลเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ อาทิเช่น การเข้าถึงของสัญญาณในช่วงเวลาต่างๆ, การสูญเสียเชิงวิถี, การวิเคราะห์ผลเชิงสถิติ เป็นต้น

4.2 แบบแผนการทดลองวัด

แบบแผนการทดลองวัดของระบบช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบกว้างยิ่งจะประกอบไปด้วย เครื่องวิเคราะห์วงจรข่ายแบบเวกเตอร์รุ่น HP-8510C ชุดทดสอบพารามิเตอร์การกระจัดกระจาย (S-parameter test set) รุ่น HP-8514B และตัวสังเคราะห์ความถี่ (Frequency synthesized sweeper) รุ่น HP-83620A เป็นอุปกรณ์หลักในการทดลอง ดังได้แสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งจะถูกเก็บและรวบรวมข้อมูลโดยการสั่งการจากเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer;

PC) ที่เชื่อมต่อผ่านการ์ด GPIB (General purpose interface bus) โดยอุปกรณ์ชนิดนี้จะมีคุณสมบัติที่สามารถตรวจวัดสัญญาณในโครงข่ายหนึ่งพอร์ตและสองพอร์ต ซึ่งในการทดลองนี้จะทำการวัดแบบสองพอร์ต โดยพอร์ตที่หนึ่งคือพอร์ตที่ใช้ในการส่งสัญญาณ (Tx) ส่วนพอร์ตสองจะใช้ในการรับสัญญาณ (Rx) โดยที่ปลายของพอร์ตทั้งสองจะถูกต่อกับสายอากาศ และทำการวัดในโดเมนความถี่ก่อนที่จะถูกนำผลการวัดไปวิเคราะห์ใน โปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่อไป



รูปที่ 4.1 แบบแผนการทดลองวัดช่องสัญญาณวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง

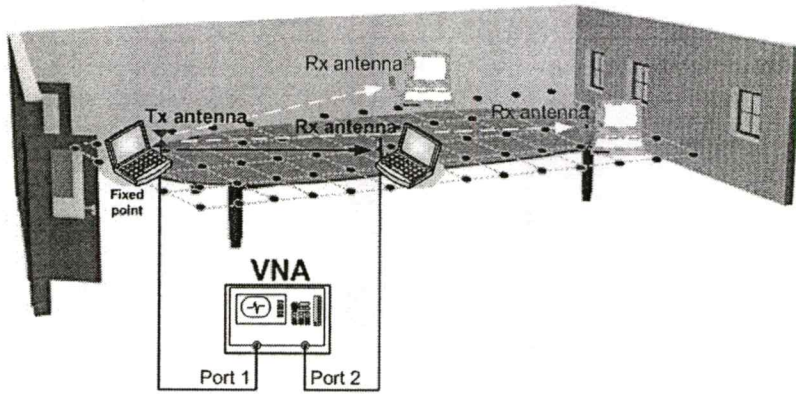
สำหรับการทดลองวัดช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งได้นำผลจากการทดลองวัดมาวิเคราะห์โดยได้พิจารณาถึงผลกระทบจากแลปท็อปคอมพิวเตอร์ที่มีต่อช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งเพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับเทคโนโลยีโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลแบบไร้สายซึ่งถือว่าเป็นเทคโนโลยีที่กำลังได้รับความสนใจในปัจจุบันนี้ พร้อมทั้งยังสามารถปรับปรุงและพัฒนาระบบแบบแถบกว้างยิ่งให้ใช้งานร่วมกับเทคโนโลยีอื่นๆ ได้ดียิ่งขึ้นต่อไปในอนาคต งานวิจัยนี้ได้ทำการพิจารณาถึงผลกระทบจากแลปท็อปคอมพิวเตอร์ที่มีต่อการส่งผ่านของช่องสัญญาณทั้งหมด 3 รูปแบบการทดลองวัดดังนี้

4.3 การทดลองวัดช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง

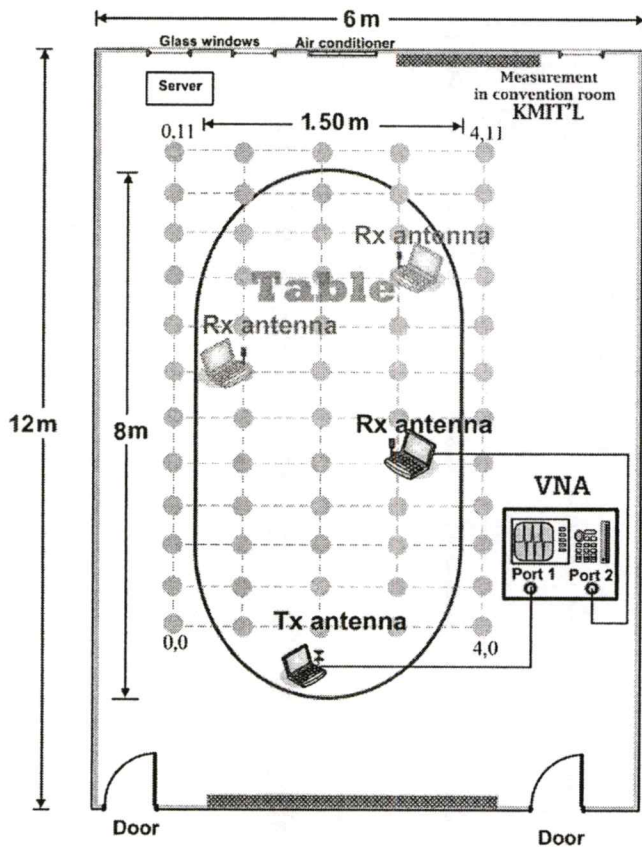
ในการทดลองวัดนั้นได้ทำการวิเคราะห์ 3 รูปแบบ คือการทดลองวัดที่ 1 วิเคราะห์ผลกระทบจากแลปที่อปคอมพิวเตอร์ที่มีส่งผลต่อประสิทธิภาพของสายอากาศแบบแถบกว้างยิ่ง สายอากาศทางด้านส่งและด้านรับจะถูกยึดติดกับแลปที่อปคอมพิวเตอร์วางอยู่บนโต๊ะประชุมโดยใช้สายอากาศแบบกรวยคู่เป็นสายอากาศทางด้านส่งส่วนทางด้านรับจะใช้สายอากาศแบบเส้นตัวนำกลาง การทดลองวัดที่ 2 จะมีลักษณะคล้ายกับการทดลองวัดที่ 1 แต่ใช้สายอากาศแบบเส้นตัวนำกลางยึดติดกับแลปที่อปคอมพิวเตอร์ทั้งสองด้านเพื่อวิเคราะห์ให้เห็นถึงผลกระทบที่เกิดจากแลปที่อปคอมพิวเตอร์ที่ส่งผลต่อช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง กรณีใช้งานร่วมกับสายอากาศเชิงพาณิชย์ที่มีขนาดเล็กซึ่งใกล้เคียงกับการใช้งานจริง และส่วนสุดท้ายคือการทดลองวัดที่ 3 เป็นการวิเคราะห์ค่าการสูญเสียเชิงวิธีหลังจากระยะจุดหักมุมเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของการลดลงของพลังงานที่รับได้ โดยตั้งสมมติฐานจำลองระบบวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งเมื่อนำมาประยุกต์เป็นอุปกรณ์ใช้งานร่วมกับแลปที่อปคอมพิวเตอร์ เช่น เมาส์และคีย์บอร์ด เป็นต้น หากเรามีการเคลื่อนย้ายอุปกรณ์เหล่านี้ด้วยแล้วจะเกิดผลกระทบที่มีต่อการส่งผ่านของช่องสัญญาณอย่างไร การทดลองวัดทั้ง 3 แบบนี้ได้จัดทำขึ้นภายในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารในห้องประชุมที่มีขนาดความกว้าง 6 เมตร ยาว 12 เมตร และสูง 3 เมตร โดยแลปที่อปคอมพิวเตอร์จะวางอยู่บนโต๊ะประชุมซึ่งมีขนาดความกว้าง 1.50 เมตร ยาว 8 เมตร และสูง 0.72 เมตร ขนาดของกริดแกนนอน (X grids) เท่ากับ 4 และ กริดแกนตั้ง (Y grids) เท่ากับ 13 แต่ละกริดที่อยู่บนโต๊ะประชุมกว้าง 0.60 เมตร ยาว 0.60 เมตร สำหรับการทดลองวัดแต่ละประเภทจะได้กล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

4.3.1 การทดลองวัดช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งแบบที่ 1

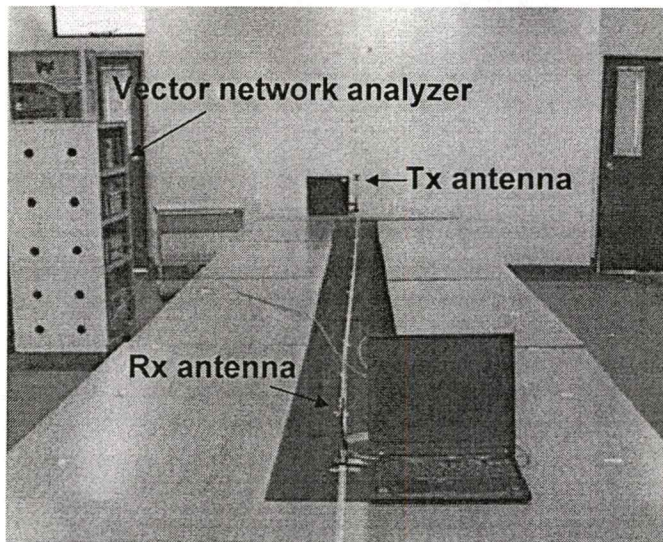
เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ได้ถูกใช้เป็นตัววัดผลการตอบสนองของสัญญาณในโดเมนความถี่ โดยพอร์ตที่ 1 เป็นพอร์ตทางด้านส่งต่อกับสายอากาศแบบกรวยคู่ซึ่งยึดติดกับแลปที่อปคอมพิวเตอร์และวางไว้อยู่กับที่ พอร์ตที่ 2 เป็นพอร์ตทางด้านรับต่อกับสายอากาศแบบเส้นตัวนำกลางซึ่งยึดติดกับแลปที่อปคอมพิวเตอร์ด้วยเหมือนกัน โดยที่แลปที่อปคอมพิวเตอร์ทั้งสองเครื่องจะวางอยู่บนโต๊ะประชุมทำการเลื่อนตำแหน่งของสายอากาศด้านรับไปตามแนวกริดทั้งหมด 60 ตำแหน่ง โดยเริ่มจากตำแหน่ง (0,0) ไปจนถึงตำแหน่ง (0,11) แล้วกลับมาเริ่มต้นใหม่ที่ตำแหน่ง (1,0) และไปสิ้นสุดที่ตำแหน่ง (1,11) ทำการเลื่อนตำแหน่งของสายอากาศทางด้านรับไปเรื่อยๆจนกระทั่งครบทุกตำแหน่ง ซึ่งการทดลองวัด, การเตรียมการวัด และขนาดของห้องและตำแหน่งการจัดวางอุปกรณ์ของการวัดช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งการทดลองวัดที่ 1 แสดงได้ดังรูปที่ 4.2, 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ



รูปที่ 4.2 การเตรียมการวัดช่องสัญญาณวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง (แบบที่ 1)



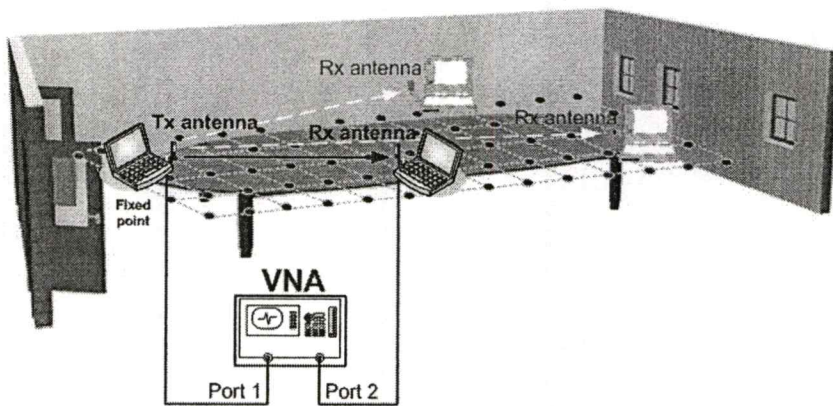
รูปที่ 4.3 ขนาดของห้องและตำแหน่งการจัดวางอุปกรณ์ (แบบที่ 1)



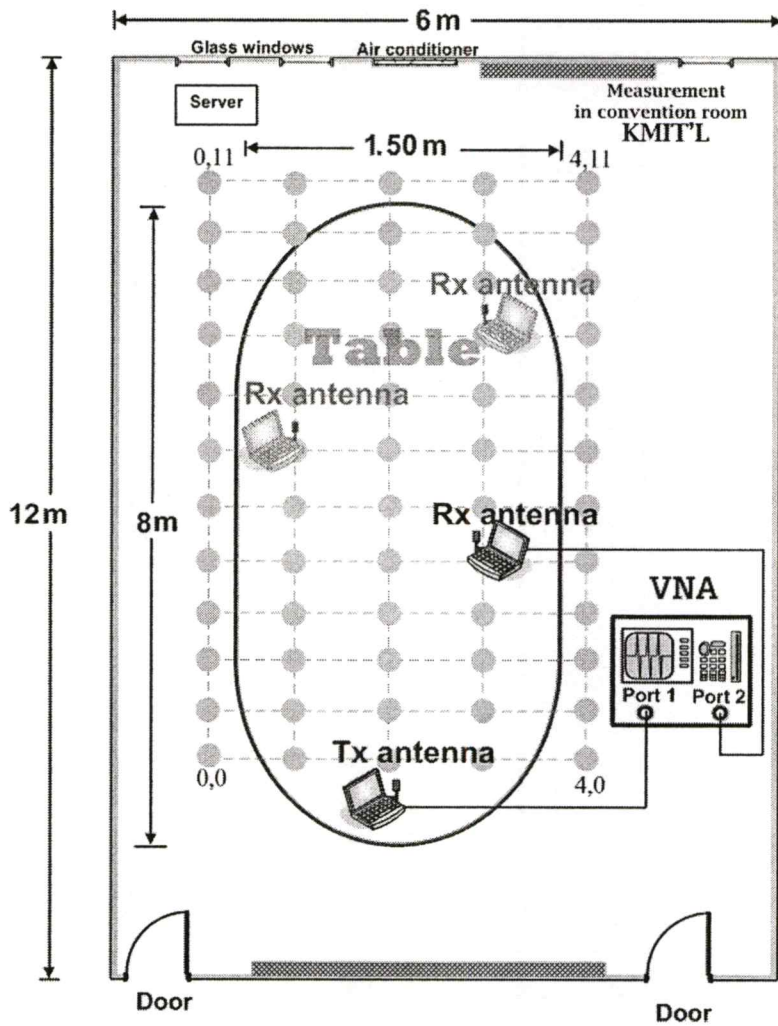
รูปที่ 4.4 การทดลองวัดช่องสัญญาณวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง (แบบที่ 1)

4.3.2 การทดลองวัดช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งแบบที่ 2

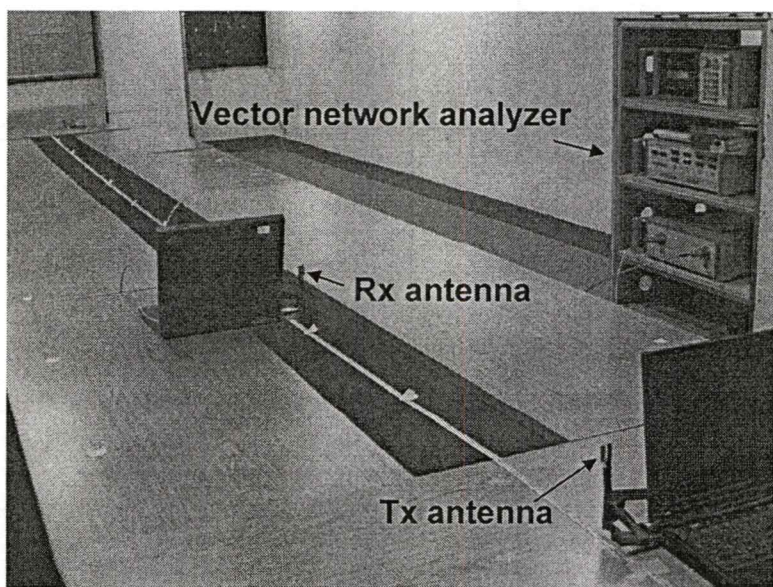
การทดลองวัดที่ 2 จะมีลักษณะคล้ายกับการทดลองวัดที่ 1 แต่เปลี่ยนสายอากาศทางด้านส่งเป็นสายอากาศแบบเส้นตัวนำกลาง ซึ่งการทดลองวัด, การเตรียมการวัด และขนาดของห้องและตำแหน่งการจัดวางอุปกรณ์ของการวัดช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งการทดลองวัดที่ 2 แสดงได้ดังรูปที่ 4.5, 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ



รูปที่ 4.5 การเตรียมการวัดช่องสัญญาณวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง (แบบที่ 2)



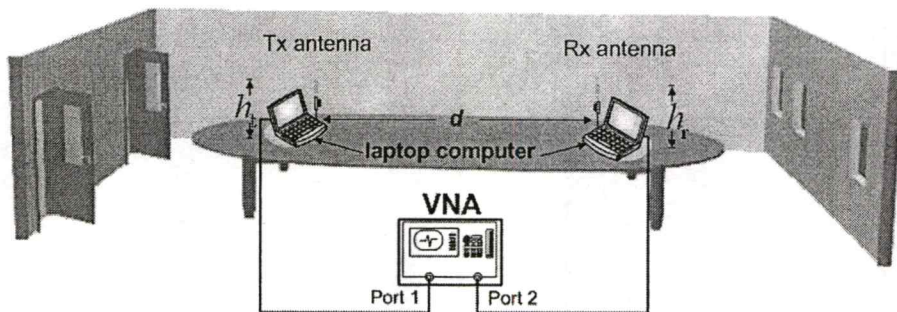
รูปที่ 4.6 ขนาดของห้องและตำแหน่งการจัดวางอุปกรณ์ (แบบที่ 2)



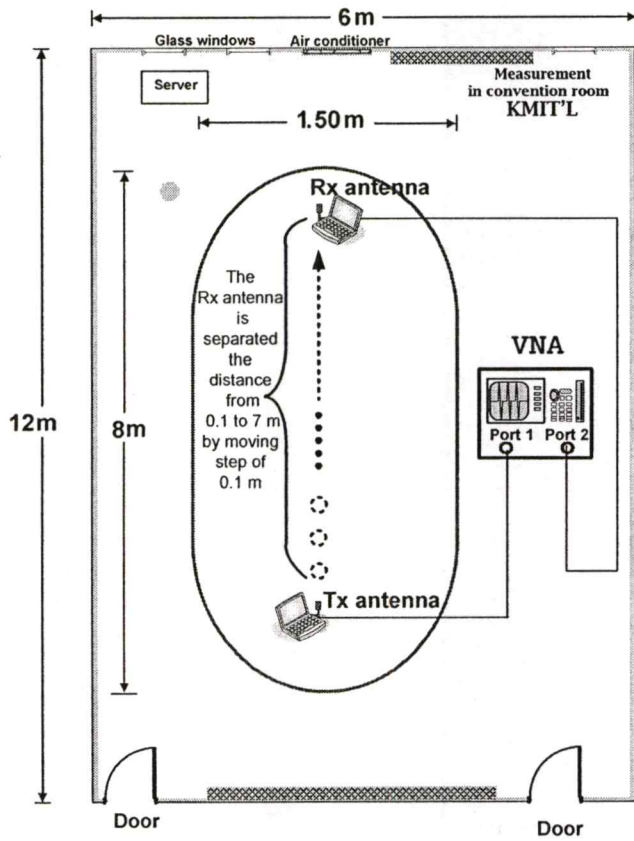
รูปที่ 4.7 การทดลองวัดช่องสัญญาณวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง (แบบที่ 2)

4.3.3 การทดลองวัดช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งแบบที่ 3

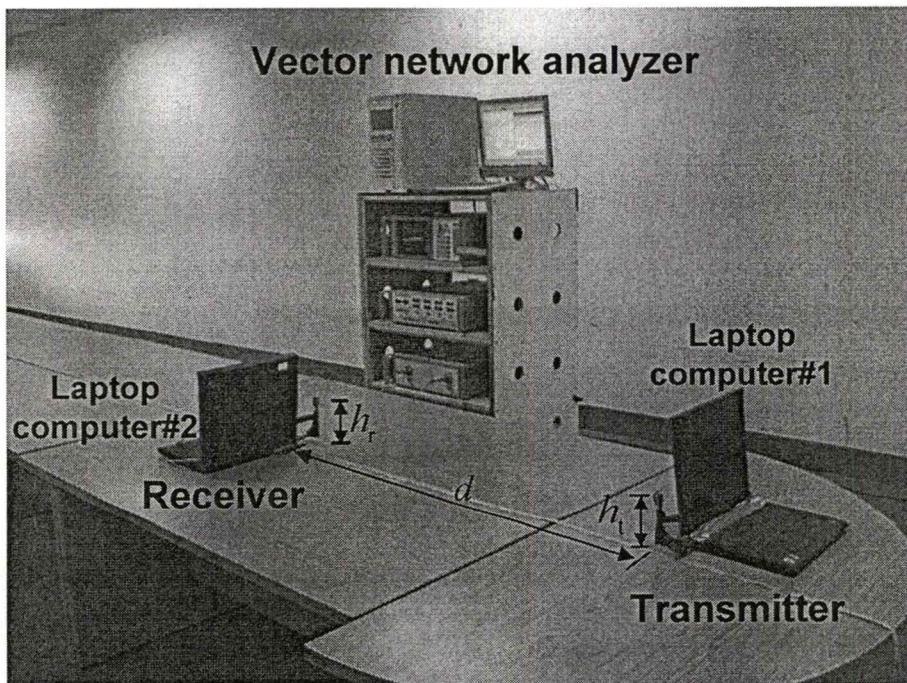
การทดลองวัดที่ 3 เป็นการพิจารณาถึงค่าการสูญเสียเชิงวิถีหลังการเกิดระยะจุดหักมุมของแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์ที่มีผลต่อการส่งผ่านของช่องสัญญาณในระบบแบบแถบกว้างยิ่ง ด้วยสาเหตุที่เทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งเมื่อนำไปใช้งานก็คืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งที่มีลักษณะเป็นชิปที่ฝังอยู่ในเครื่องคอมพิวเตอร์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงสังเกตเห็นว่าการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการส่งผ่านของช่องสัญญาณในระบบแบบแถบกว้างยิ่งที่เกิดผลกระทบจากแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์กรณีที่มีการใช้งานในกรณีที่เป็แล็ปท็อปคอมพิวเตอร์และแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์, แล็ปท็อปคอมพิวเตอร์และเมาส์ หรือแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์และคีย์บอร์ด เป็นต้น ด้วยเหตุผลที่ว่าในการใช้งานจริงอุปกรณ์เหล่านี้ย่อมเกิดการเคลื่อนที่อยู่บ่อยครั้งและส่งผลให้เกิดค่าการสูญเสียเชิงวิถีตามระยะทางต่างๆ งานวิจัยจึงทำการศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้น โดยใช้สายอากาศแบบเส้นตัวนำกลางยึดติดกับแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์ทั้งทางด้านส่งและทางด้านรับ จากนั้นให้สายอากาศทางด้านส่งวางอยู่กับที่และเลื่อนระยะทางของสายอากาศทางด้านรับทีละ 0.1 เมตร ตามระยะทางในแนวระดับสายตาไปเรื่อยๆ จนถึงระยะทางที่ 7.0 เมตร รวมทั้งสิ้น 70 ตำแหน่ง โดยการทดลองวัด, การเตรียมการวัด และขนาดของห้องและตำแหน่งการจัดวางอุปกรณ์ของการวัดช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งการทดลองวัดที่ 3 แสดงได้ดังรูปที่ 4.8, 4.9 และ 4.10 ตามลำดับ



รูปที่ 4.8 การเตรียมการวัดช่องสัญญาณวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง (แบบที่ 3)



รูปที่ 4.9 ขนาดของห้องและตำแหน่งการจัดวางอุปกรณ์ (แบบที่ 3)



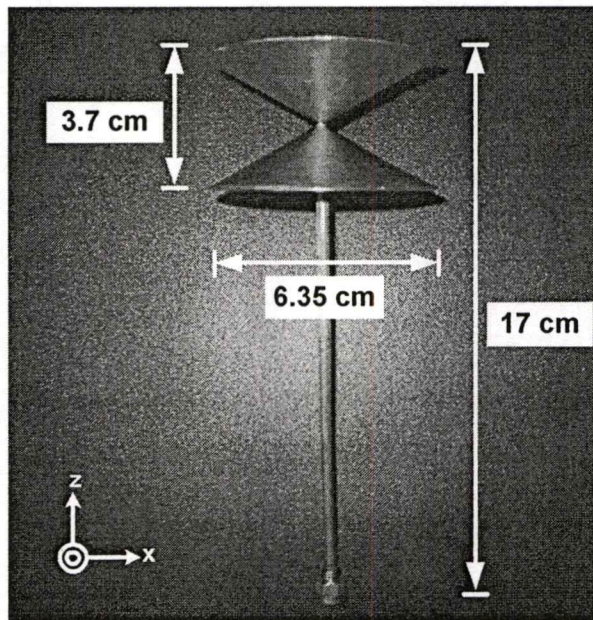
รูปที่ 4.10 การทดลองวัดช่องสัญญาณวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง (แบบที่ 3)

4.4 สายอากาศที่ใช้ในการทดลองวัด

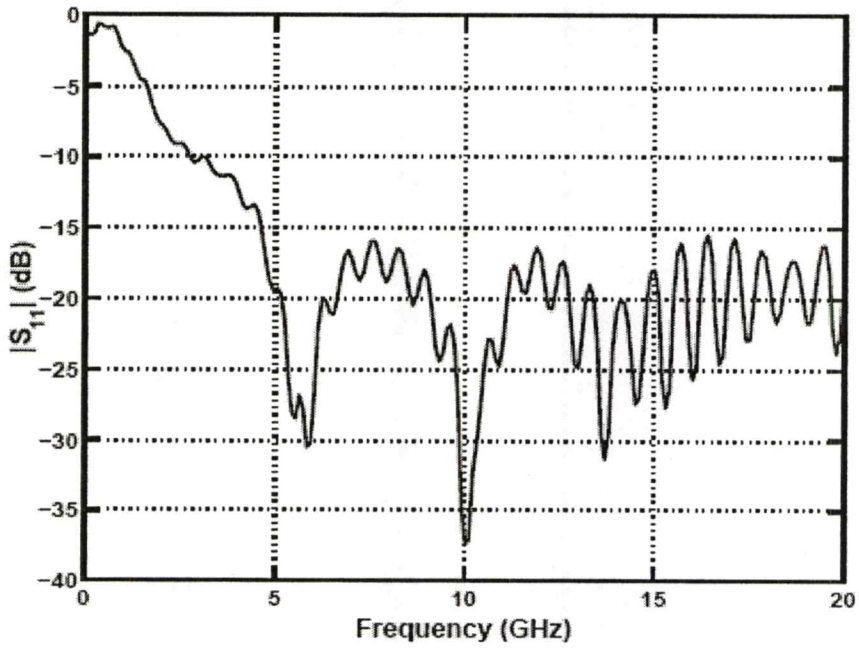
ในการตรวจวัดช่องสัญญาณแบบไร้สายนั้นจำเป็นต้องมีอุปกรณ์สำคัญอีกอย่างหนึ่งซึ่งเรียกว่าสายอากาศ (Antenna) ซึ่งช่วยในการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าจากสายอากาศทางด้านส่งให้เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแพร่กระจายผ่านอากาศไปยังสายอากาศทางด้านรับแล้วเปลี่ยนกลับมาเป็นสัญญาณไฟฟ้าตามเดิม โดยในการทดลองนี้ได้ใช้สายอากาศอยู่ 2 ชนิดโดยประกอบไปด้วยสายอากาศทางด้านส่ง (Tx) และสายอากาศทางด้านรับ (Rx) ชนิดแรกเป็นสายอากาศที่มีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น (Radiation pattern) แบบรอบทิศทาง (Omni-directional) เป็นสายอากาศที่ตอบสนองความถี่กว้าง (Wideband) สายอากาศชนิดที่สองเป็นสายอากาศเชิงพหุขั้วที่ทางห้องปฏิบัติการได้ซื้อมาจากบริษัทสกายครอสประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งสายอากาศทั้งสองชนิดสามารถรองรับการใช้งานในความถี่ตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ตามข้อกำหนดย่านความถี่การใช้งานของระบบแถบกว้างยิ่งของคณะกรรมการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา

4.4.1 สายอากาศแบบกรวยคู่ (Biconical antenna)

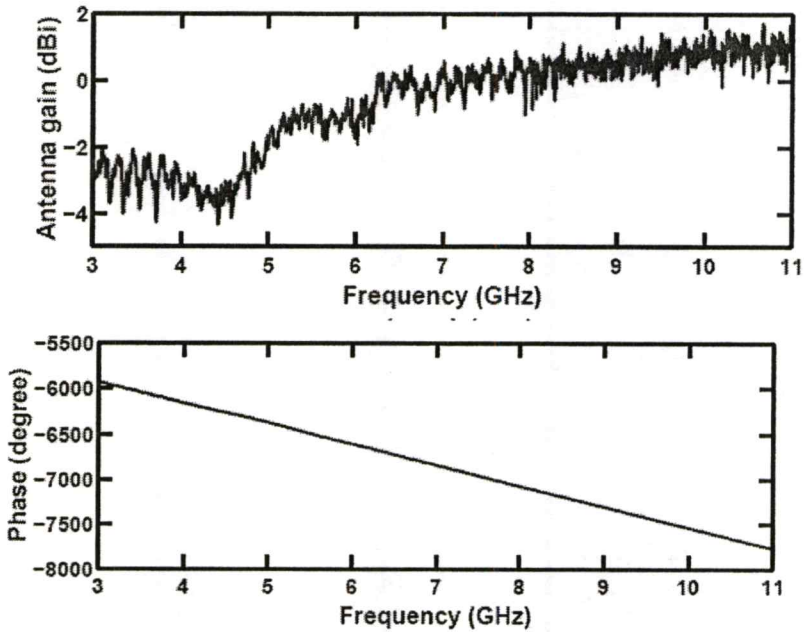
สายอากาศกรวยคู่เป็นสายอากาศที่มีลักษณะการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัว โดยกรวยด้านบนของสายอากาศใช้เป็นตัวแพร่กระจายคลื่นวิทยุและกรวยด้านล่างจะต่อกับกราวด์ รูปที่ 4.14 แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างของสายอากาศชนิดนี้ รูปที่ 4.15 แสดงถึงค่าประสิทธิภาพการสะท้อนกลับ (Reflection coefficient) $|S_{11}|$ ของสายอากาศกรวยคู่ ให้เห็นว่าค่าประสิทธิภาพการสะท้อนกลับนั้นมีค่าต่ำกว่า -10 dB ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz



รูปที่ 4.11 โครงสร้างและขนาดของสายอากาศแบบกรวยคู่



รูปที่ 4.12 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศแบบกรวยคู่

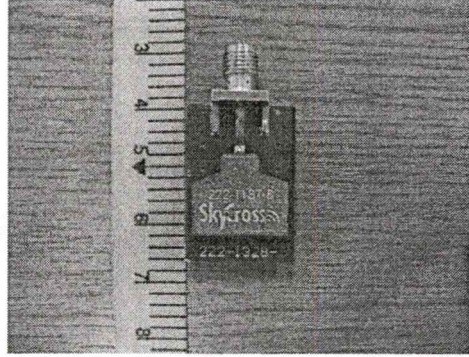


รูปที่ 4.13 อัตราการขยายและเฟสของสายอากาศแบบกรวยคู่

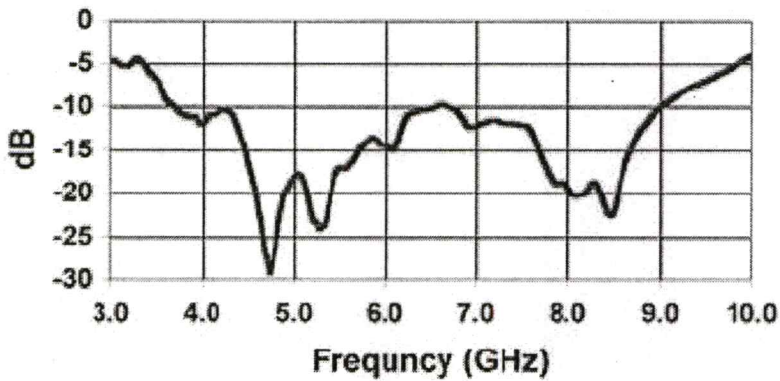
4.4.2 สายอากาศแบบเส้นตัวนำกลาง (Meander line antenna; MLA)

สายอากาศแบบเส้นตัวนำกลางเป็นสายอากาศที่ออกแบบโดยบริษัทสกายครอส [15] ประเทศสหรัฐอเมริกาเพื่อนำมาใช้งานในช่วงความถี่ของระบบแถบกว้างยิ่งด้วยคุณสมบัติของ

สายอากาศที่มีขนาดเล็กและเฟสมีความเป็นเชิงเส้นตลอดช่วงความถี่ เป็นสายอากาศที่สามารถตอบสนองความถี่ได้กว้างคือตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz และมีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบรอบตัวตามแนวตั้ง (Vertical) ของสายอากาศ



รูปที่ 4.14 โครงสร้างและขนาดสายอากาศแบบเส้นตัวนำกลาง



รูปที่ 4.15 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศแบบเส้นตัวนำกลาง

4.5 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองนี้ได้แบ่งเป็น 3 รูปแบบในการวิเคราะห์ซึ่งได้แสดงค่าต่างๆดังต่อไปนี้

4.5.1 พารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการทดลองวัดแบบที่ 1

พารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการทดลองได้แสดงให้เห็นในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์	ค่า
ช่วงความถี่	3.0 GHz ~ 11.0 GHz
จำนวนจุดของความถี่	801 จุด
ความสูงของสายอากาศด้านส่ง (จากพื้นโต๊ะประชุม)	0.10 เมตร
ความสูงของสายอากาศด้านรับ (จากพื้นโต๊ะประชุม)	0.10 เมตร
ชนิดของสายอากาศด้านส่ง	สายอากาศแบบกรวยคู่
ชนิดของสายอากาศด้านรับ	สายอากาศแบบเส้นตัวนำกลาง
การวางตัวของสายอากาศ	แนวตั้ง
ระยะทางการเคลื่อนที่ของสายอากาศด้านรับ	ตำแหน่งละ 0.60 เมตร
จำนวนตำแหน่งที่ทำการวัด	60 ตำแหน่ง
ขนาดของระยะกริด	0.60 x 0.60 เมตร

4.5.2 พารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการทดลองวัดแบบที่ 2

พารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการทดลองได้แสดงให้เห็นในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์	ค่า
ช่วงความถี่	3.0 GHz ~ 11.0 GHz
จำนวนจุดของความถี่	801 จุด
ความสูงของสายอากาศด้านส่ง (จากพื้นโต๊ะประชุม)	0.10 เมตร
ความสูงของสายอากาศด้านส่ง (จากพื้นโต๊ะประชุม)	0.10 เมตร
ชนิดของสายอากาศด้านรับ	สายอากาศแบบเส้นตัวนำกลาง
ชนิดของสายอากาศด้านรับ	สายอากาศแบบเส้นตัวนำกลาง
การวางตัวของสายอากาศ	แนวตั้ง
ระยะทางการเคลื่อนที่ของสายอากาศด้านรับ	ตำแหน่งละ 0.60 เมตร
จำนวนตำแหน่งที่ทำการวัด	60 ตำแหน่ง
ขนาดของระยะกริด	0.60 x 0.60 เมตร

4.5.3 พารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการทดลองวัดแบบที่ 3

พารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการทดลองได้แสดงให้เห็นในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์	ค่า
ช่วงความถี่	3.0 GHz ~ 11.0 GHz
จำนวนจุดของความถี่	801 จุด
ความสูงของสายอากาศด้านส่ง (จากพื้นโต๊ะประชุม)	0.10 และ 0.20 เมตร
ความสูงของสายอากาศด้านรับ (จากพื้นโต๊ะประชุม)	0.10 และ 0.20 เมตร
ชนิดของสายอากาศด้านส่ง	สายอากาศแบบกรวยคู่
ชนิดของสายอากาศด้านรับ	สายอากาศแบบเส้นตัวนำกลาง
การวางตัวของสายอากาศ	แนวตั้ง
ระยะทางการเคลื่อนที่ของสายอากาศด้านรับ	ตำแหน่งละ 0.60 เมตร
จำนวนตำแหน่งที่ทำการวัด	70 ตำแหน่ง
ระยะทางรวมของสายอากาศด้านรับและด้านส่ง	7 เมตร

4.6 แบบจำลองสัญญาณที่ใช้ส่ง

4.6.1 รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม (Rectangular passband)

ในขั้นตอนของการวิเคราะห์ข้อมูลนั้นรูปคลื่นสัญญาณแบบแถบกว้างยั้งที่ใช้ในการส่งได้ถูกกำหนดโดยพิจารณาในส่วนของสัญญาณอิมพัลส์ซึ่งมีความถี่ครอบคลุมตลอดทั้งช่วงที่ FCC กำหนด คือตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz โดยมีความถี่ศูนย์กลางและแบนด์วิดท์รวม เท่ากับ 6.85 GHz และ 7.5 GHz ตามลำดับ ในส่วนของการวิเคราะห์การทดลองวัดนั้นได้ใช้สัญญาณพัลส์ที่เรียกว่า แถบผ่านสี่เหลี่ยม ในการวิเคราะห์โดยกำหนดความถี่ต่ำสุด (f_{\min}) เท่ากับ 3.1 GHz ความถี่สูงสุด (f_{\max}) เท่ากับ 10.6 GHz และสเปกตรัมแบนด์วิดท์ (f_b) เท่ากับ 7.5 GHz รูปแบบของสัญญาณพัลส์ที่ใช้วิเคราะห์มีนิยามดังสมการที่ 4.1 และความหนาแน่นสเปกตรัมแสดงได้ดังสมการที่ 4.2

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

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

โดยที่

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

เมื่อ

t คือ ค่าเวลา (Time)

A คือ แอมพลิจูดสูงสุด

f คือ ค่าความถี่ (Frequency)

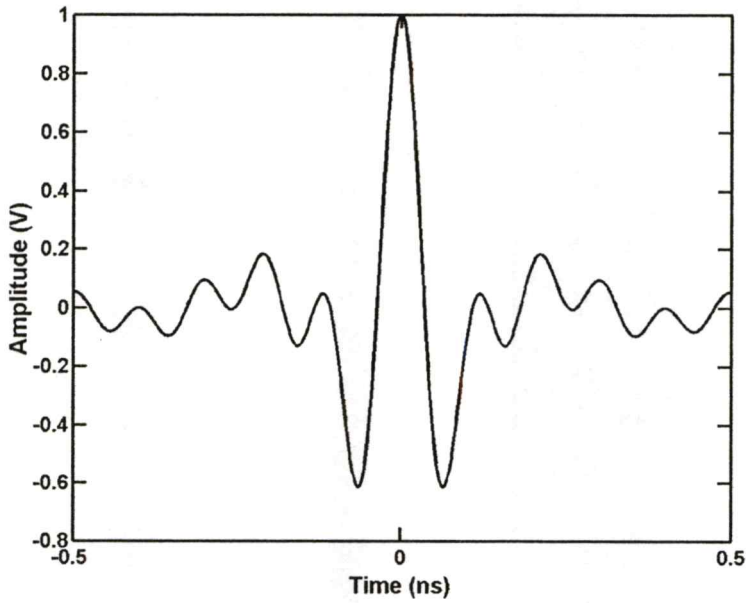
f_c คือ ความถี่กลาง (Center frequency)

f_b คือ แบนด์วิดท์ (Bandwidth)

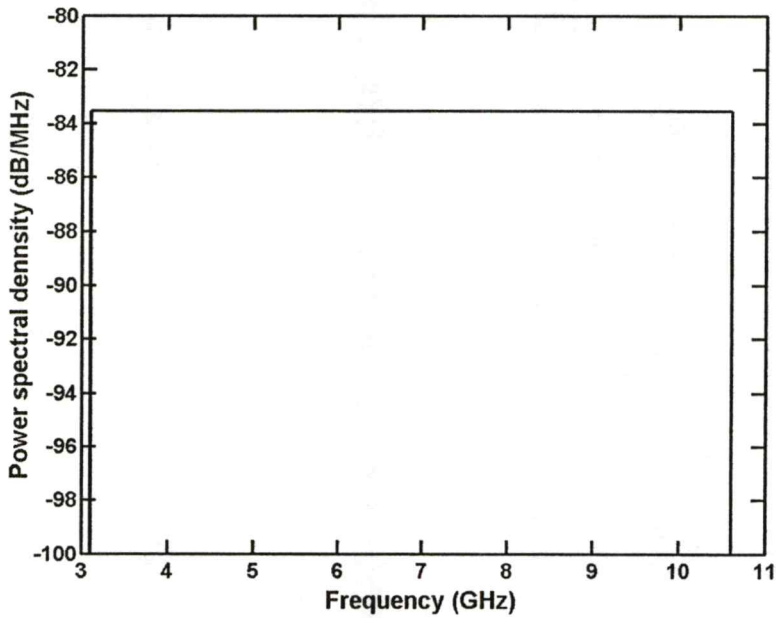
$f_{\min} = (f_c - f_b)/2$ คือ ค่าความถี่ต่ำสุด (Minimum frequency)

$f_{\max} = (f_c + f_b)/2$ คือ ค่าความถี่สูงสุด (Maximum frequency)

รูปคลื่นนี้มีความหนาแน่นสเปกตรัมเป็นรูปสี่เหลี่ยมทั้งในด้านความถี่บวกและความถี่ลบ โดยความหนาแน่นสเปกตรัมจะมีขนาดคงที่เท่ากับ $A/(2f_b)$ อยู่ในช่วงความถี่ตั้งแต่ $-f_{\max}$ ถึง $-f_{\min}$ และ f_{\min} ถึง f_{\max} และจะมีเฟสเป็นศูนย์ รูปคลื่นนี้เป็นรูปคลื่นแบบแถบกว้างยิ่งในอุดมคติ ดังนั้นจึงใช้พิจารณาหาขอบจำกัดสูงสุดที่เป็นไปได้ของแบนด์วิดท์มากที่สุด แอมพลิจูดมากที่สุด และกำลังมากที่สุดของรูปคลื่นแบบแถบกว้างยิ่ง รูปคลื่นนี้จะมีความสมมาตรแบบฟังก์ชันคู่ และมีส่วนประกอบกระแสตรง (Direct current; DC) เป็นศูนย์ รูปที่ 4.16 แสดงถึงรูปคลื่นสัญญาณที่ใช้ในโดเมนเวลาโดยแกน X แสดงถึงค่าของเวลาและแกน Y แสดงถึงขนาดของแอมพลิจูดที่ใช้ในการส่งผ่านในการส่งผ่านระบบวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งมีค่าเท่ากับ 1 โวลต์ รูปที่ 4.17 แสดงถึงความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของรูปคลื่นที่ใช้ในการส่งผ่านระบบวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งในโดเมนความถี่ โดยมีแกน X แสดงถึงค่าความถี่และแกน Y แสดงถึงค่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานในหน่วยของ dB/MHz



รูปที่ 4.16 รูปคลื่นสัญญาณที่ใช้ในการส่งผ่านระบบวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง



รูปที่ 4.17 ความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของรูปคลื่นสัญญาณวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง

4.7 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงแบบแผนการทดลองวัดและการทดลองวัดช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งซึ่งพิจารณาถึงผลกระทบที่เกิดจากแถบที่อุปคอมพิวเตอร์ที่มีต่อช่องสัญญาณวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารสำหรับโครงข่าย

พื้นที่ส่วนบุคคล การทดลองวัดได้จัดทำขึ้นในห้องประชุมภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศโดยจัดวาง
แล็ปท็อปคอมพิวเตอร์บนโต๊ะประชุมและใช้สายอากาศที่ตอบสนองช่วงความถี่ได้กว้างจำนวนสอง
ชนิดยึดติดไว้กับแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โคจรข่ายแบบเวกเตอร์เป็นอุปกรณ์
หลักที่ใช้ในการวัดและบันทึกข้อมูลในโดเมนทางความถี่เพื่อนำผลที่ได้จากการวัดไปวิเคราะห์ถึง
ผลกระทบต่างๆ ที่มีต่อช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งซึ่งจะได้แสดงผลของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่
เกี่ยวข้องในบทความต่อไป

บทที่ 5

ผลการทดลองวัดและการวิเคราะห์

5.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลที่ได้จากการทดลองวัดจริงและการวิเคราะห์ข้อมูลของแอปที่ออกแบบคอมพิวเตอร์ที่ส่งผลกระทบต่อช่องสัญญาณการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่งในสภาพแวดล้อมภายในห้องประชุมตามแบบการทดลองวัดทั้ง 3 แบบ โดยแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ, การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณที่รับได้, ขนาดและเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอน, ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์, ค่าอัตราขยายการส่งผ่าน, อัตราความผิดพลาดบิต, ค่าความหนาแน่นแถบกว้างยิ่ง ซึ่งจะขอกกล่าวเป็นหัวข้อย่อยตามแบบจำลองแต่ละแบบดังนี้

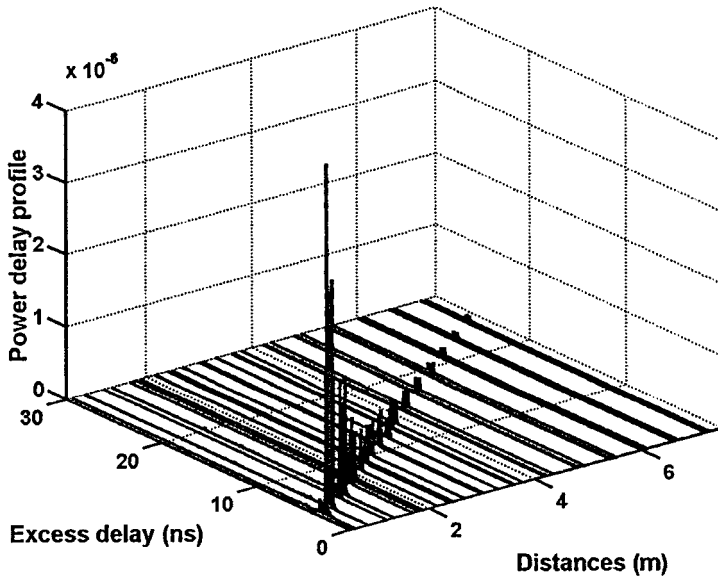
5.2 ผลการวัดและการวิเคราะห์

5.2.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองวัดแบบที่ 1

การทดลองวัดแบบที่ 1 กำหนดให้สายอากาศทางด้านส่งเป็นสายอากาศแบบกรวยคู่และสายอากาศทางด้านรับเป็นสายอากาศเส้นตัวนำกลางซึ่งสายอากาศทั้งสองชนิด ได้ยึดติดกับแอปที่ออกแบบคอมพิวเตอร์ โดยในการทดลองวัดตำแหน่งของแอปที่ออกแบบคอมพิวเตอร์ทางสายอากาศทางด้านส่งจะวางอยู่กับที่แล้วเลื่อนระยะทางแอปที่ออกแบบคอมพิวเตอร์ทางสายอากาศทางด้านรับตามระยะของกริดตามการทดลองการวัดแบบที่ 1 ซึ่งเมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์ด้วย โปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถแสดงให้เห็นถึงผลที่เกิดขึ้นในลักษณะต่างๆ ดังนี้

5.2.1.1 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ

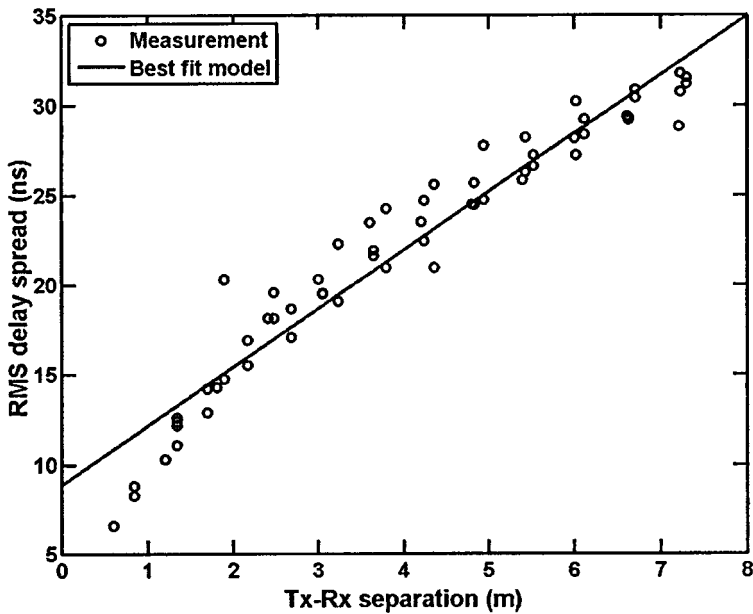
ในการแสดงผลของภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณนั้นจะแสดงในรูปแบบของกราฟ 3 แกนคือ เวลาที่ใช้ในการเดินทาง ระดับกำลังงานของสัญญาณที่รับได้และระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและด้านรับ จากรูปที่ 5.1 สังเกตได้ว่าเมื่อระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านรับอยู่ห่างจากสายอากาศทางด้านส่งเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ค่ากำลังงานของสัญญาณที่รับได้จะมีค่าลดลงและระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและด้านรับที่ใกล้ที่สุดจะใช้เวลาในการเข้าถึงน้อยที่สุดและสัญญาณที่รับได้จะมีค่ากำลังงานสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งอื่นที่อยู่ไกลออกไป



รูปที่ 5.1 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานในแต่ละระยะทางที่มีผลกระทบจากแถบที่อปคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 1)

5.2.1.2 ค่าการแผ่ประวิง

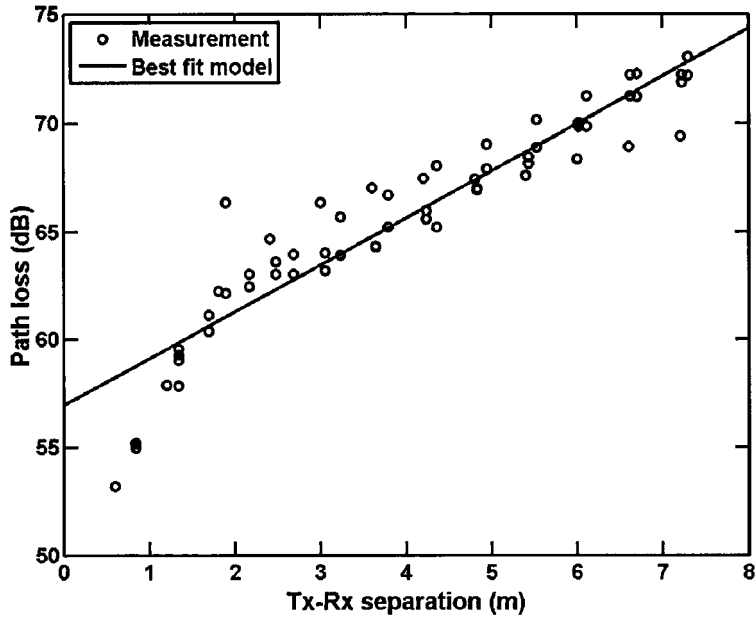
จากรูปที่ 5.2 สังเกตได้ว่าค่าการแผ่ประวิงจะเพิ่มขึ้นตามระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและด้านรับซึ่งจะสอดคล้องกับรูปที่ 5.1



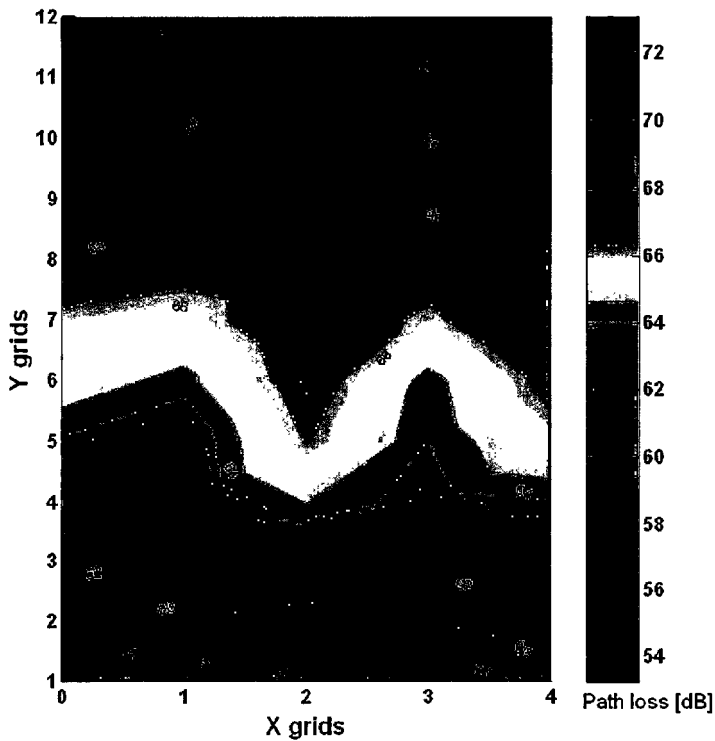
รูปที่ 5.2 ค่าการแผ่ประวิงในแต่ละระยะทางที่มีผลจากแถบที่อปคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 1)

5.2.1.3 ค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณ

การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณที่วัดได้จากในสภาพแวดล้อมภายในอาคารจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะทางซึ่งอาจจะมีผลกระทบอย่างอื่นนอกจากแลปที่ออฟคอมพิวเตอรื เช่น ผงัง, เพดานและพื้นโตะประหุม เป็นต้น



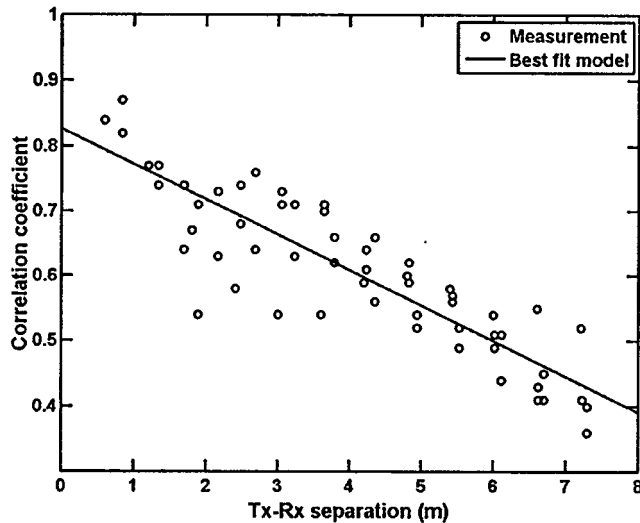
รูปที่ 5.3 ค่าการสูญเสียเชิงวิถีที่เกิดผลกระทบจากแลปที่ออฟคอมพิวเตอรื (แบบที่ 1)



รูปที่ 5.4 Contour แสดงค่าการสูญเสียเชิงวิถีตามแนวกริด (แบบที่ 1)

5.2.1.4 ค่าความเพี้ยนของสัญญาณ

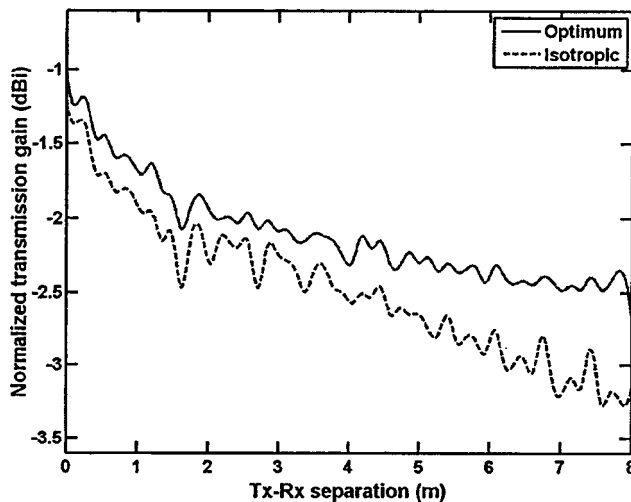
ในหัวข้อนี้จะแสดงถึงค่าความเพี้ยนของสัญญาณ โดยแสดงในผลของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณที่ใช้ส่งและสัญญาณที่รับได้ในระยะต่าง ๆ คือ ตั้งแต่ 0.60 เมตร ถึง 7.25 เมตร ในรูปที่ 5.5 เห็นได้ว่าเมื่อระยะทางระหว่างสายอากาศด้านส่งและด้านรับอยู่ห่างกันมากขึ้นจะมีความผิดเพี้ยนเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งสังเกตได้จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะลดต่ำลง



รูปที่ 5.5 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง (แบบที่ 1)

5.2.1.5 อัตราการขยายการส่งผ่านสัญญาณในช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง

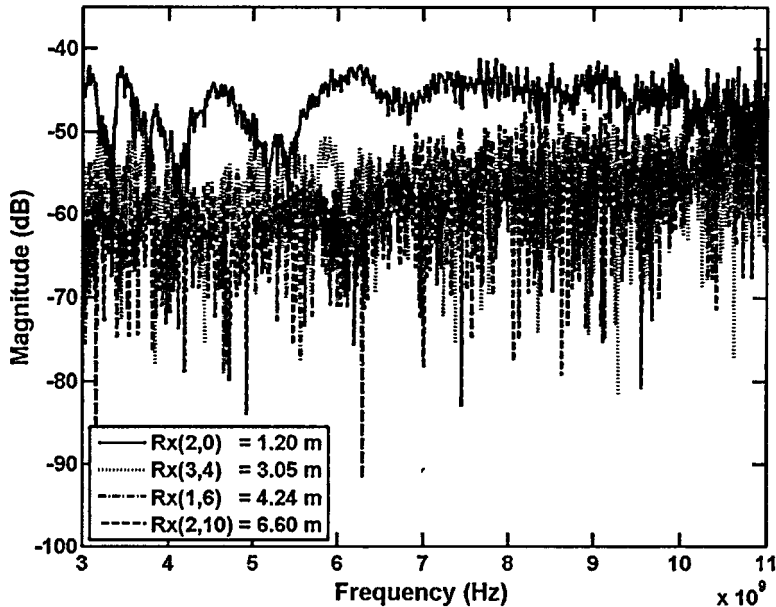
ในหัวข้อนี้จะแสดงถึงค่าอัตราการขยายการส่งผ่านระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและด้านรับที่มีค่าลดต่ำลงตามระยะที่เพิ่มขึ้น



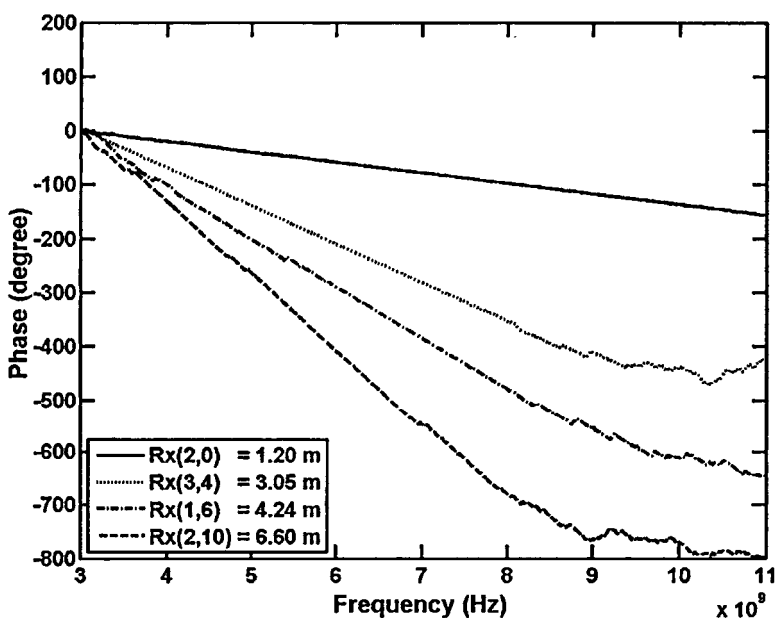
รูปที่ 5.6 ค่าอัตราขยายการส่งผ่านสัญญาณที่มีผลกระทบจากแถบที่อปคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 1)

5.2.1.6 ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง

จากผลการทดลองวัดแบบที่ 1 ได้ยกตัวอย่างตำแหน่ง (2,0), (3,4), (1,6), และ (2,10) ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณจะแสดงในรูปแบบของกราฟ 2 แกนคือ ความถี่ที่ใช้ในการส่งสัญญาณ ระดับกำลังงานของสัญญาณที่รับได้ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับเฟส ดังแสดงในรูปที่ 5.7 และ 5.8 ตามลำดับ สังเกตได้ว่าเมื่อระยะทางของสายอากาศทางด้านส่งและด้านรับอยู่ห่างกัน เฟสจะมีความเป็นเชิงเส้นลดลง



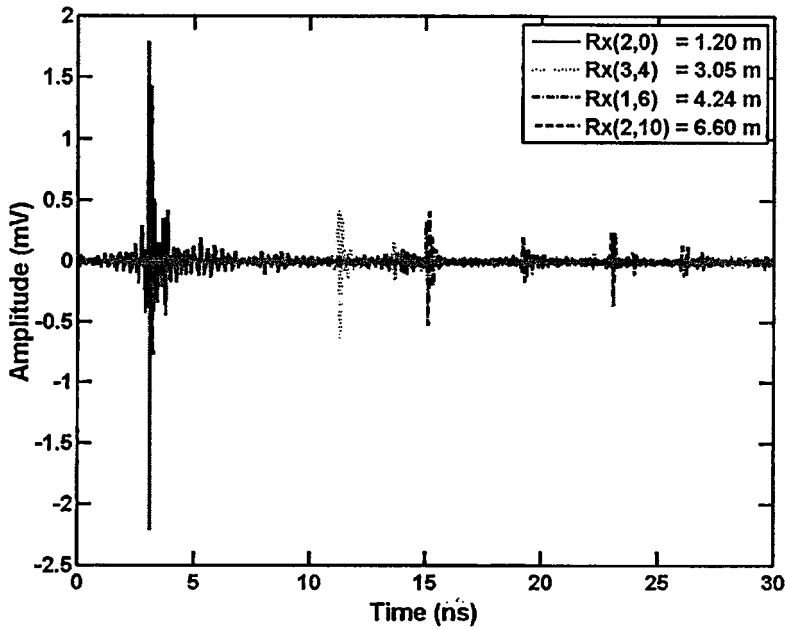
รูปที่ 5.7 ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณ (แบบที่ 1)



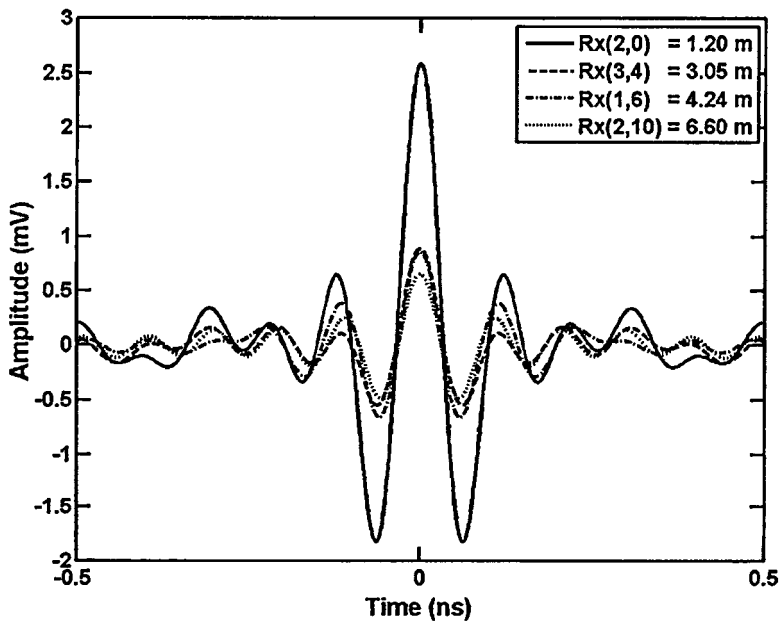
รูปที่ 5.8 เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณ (แบบที่ 1)

5.2.1.7 สัญญาณที่รับได้และสัญญาณที่ผ่านวงจรกรองแบบแมตซ์ที่มีค่าที่ดีที่สุด

แอมพลิจูดของสัญญาณที่รับได้และสัญญาณที่รับได้เมื่อผ่านวงจรกรองแบบแมตซ์ที่มีค่าที่ดีที่สุดแสดงในรูปแบบของกราฟ 2 แกนคือ ค่าของเวลาที่สัญญาณมาถึงยังด้านรับแสดงได้ในแกนนอนและค่าแอมพลิจูดของสัญญาณแสดงในแกนตั้ง ดังแสดงในรูปที่ 5.9 และ 5.10 ตามลำดับ



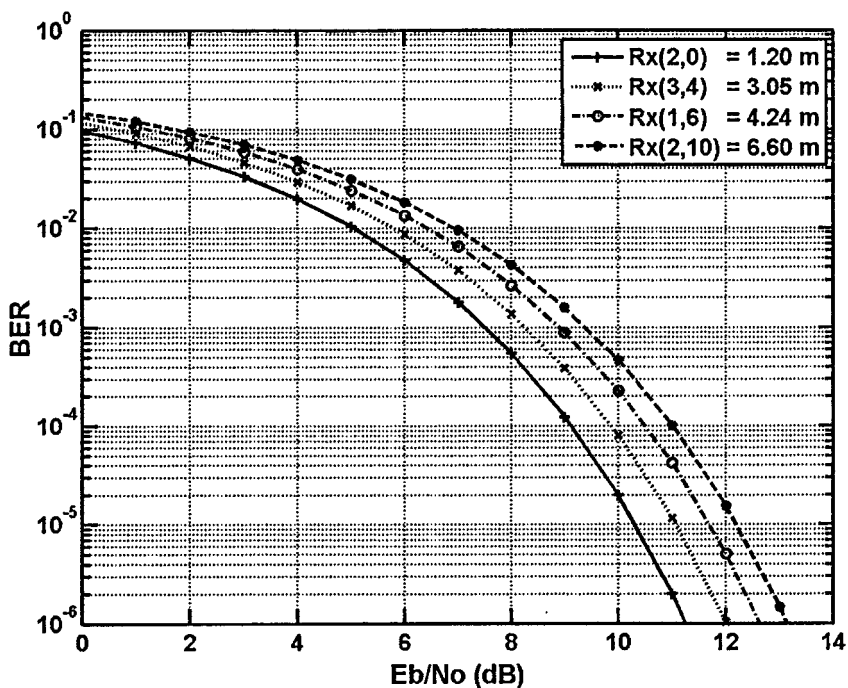
รูปที่ 5.9 ขนาดของสัญญาณที่รับได้ของช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง (แบบที่ 1)



รูปที่ 5.10 ขนาดของสัญญาณที่ผ่านวงจรกรองแบบแมตซ์ที่มีค่าที่ดีที่สุดของช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง (แบบที่ 1)

5.2.1.8 อัตราความผิดพลาดบิต

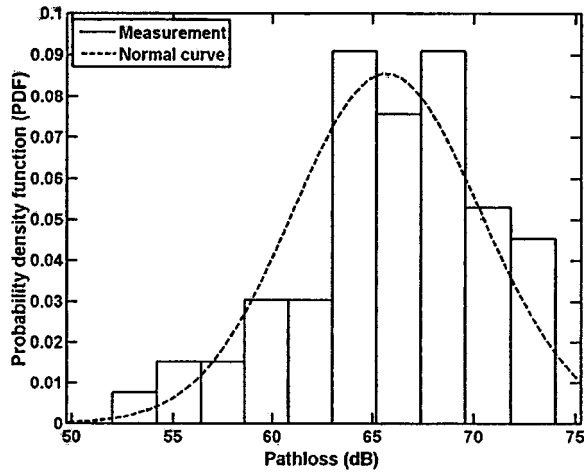
จากข้อมูลที่ทำการวัด ตำแหน่ง (2,0), (3,4), (1,6), และ(2,10) สังเกตได้ว่าที่ระยะระหว่างสายอากาศด้านส่งและด้านรับไกลขึ้นค่าอัตราความผิดพลาดบิตจะเพิ่มสูงขึ้นตาม นั่นหมายความว่าถึงระบบที่เรากำลังพิจารณาอยู่ในขณะนั้นมีประสิทธิภาพต่ำลงดังแสดงได้ในรูปที่ 5.11



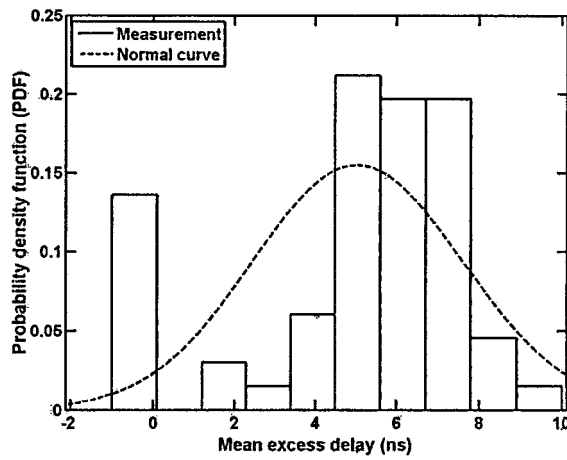
รูปที่ 5.11 อัตราความผิดพลาดบิตของช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง (แบบที่ 1)

5.2.1.9 การวิเคราะห์ทางสถิติ

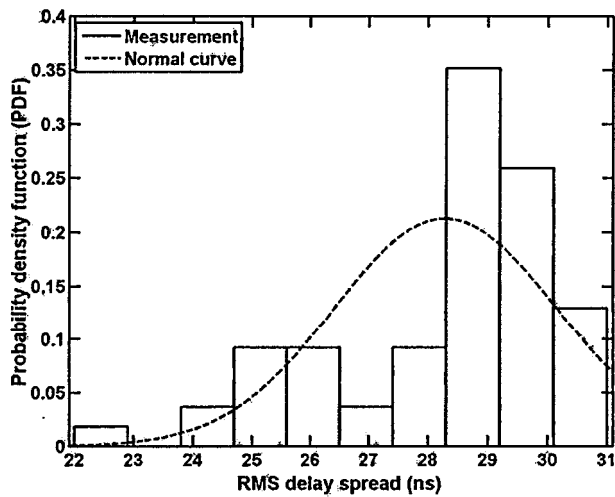
รูปที่ 5.12, 5.13 และ 5.14 แสดงถึงความหนาแน่นความน่าจะเป็นของข้อมูลที่วัด โดยพิจารณาค่าการสูญเสียเชิงวิถี, ค่าเฉลี่ยเวลาประวิงและค่าการแผ่ประวิงตามลำดับ รูปที่ 5.15, 5.16 และ 5.17 แสดงถึงความหนาแน่นความน่าจะเป็นสะสมของข้อมูลที่วัด โดยพิจารณาค่าการสูญเสียเชิงวิถี, ค่าเฉลี่ยเวลาประวิงและค่าการแผ่ประวิงตามลำดับ ซึ่งค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานแสดงดังตารางที่ 5.1



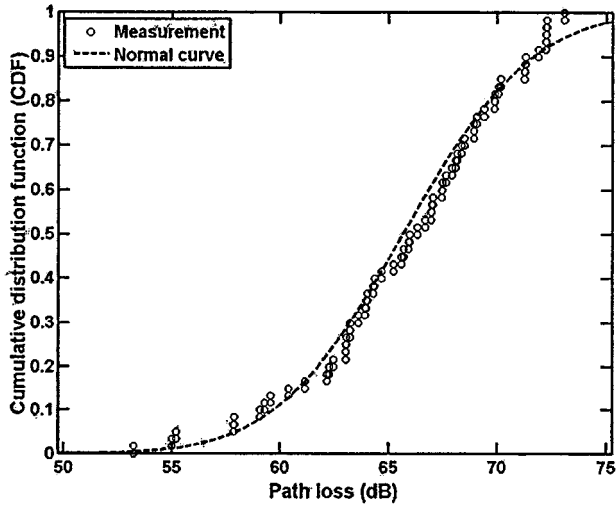
รูปที่ 5.12 ความหนาแน่นความน่าจะเป็นของการสูญเสียเชิงวิถี (แบบที่ 1)



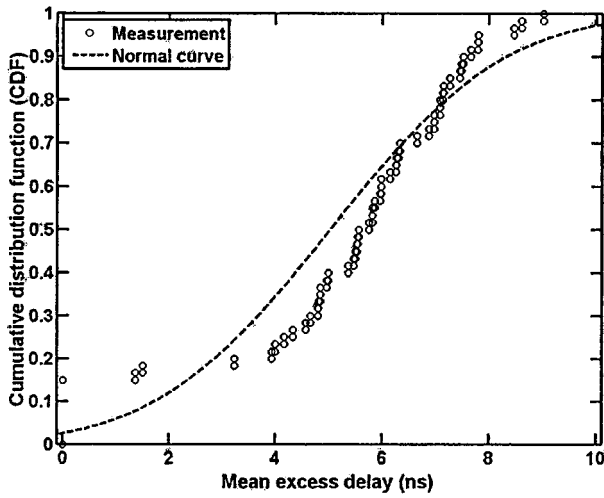
รูปที่ 5.13 ความหนาแน่นความน่าจะเป็นของค่าเฉลี่ยเวลาประวิง (แบบที่ 1)



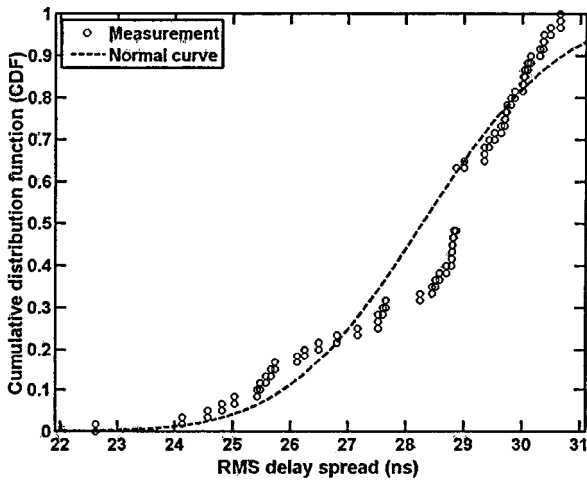
รูปที่ 5.14 ความหนาแน่นความน่าจะเป็นของค่าการแผ่ประวิง (แบบที่ 1)



รูปที่ 5.15 ความหนาแน่นความน่าจะเป็นสะสมของการสูญเสียเชิงวิถี (แบบที่ 1)



รูปที่ 5.16 ความหนาแน่นความน่าจะเป็นสะสมของค่าเฉลี่ยเวลาประวิง (แบบที่ 1)



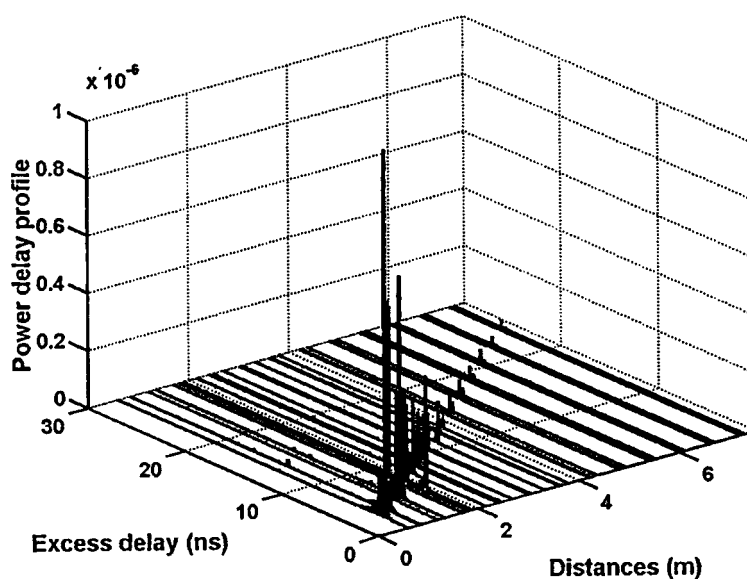
รูปที่ 5.17 ความหนาแน่นความน่าจะเป็นสะสมของค่าการแผ่ประวิง (แบบที่ 1)

ตารางที่ 5.1 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสำหรับช่องสัญญาณการแพร่กระจายแบบแถบกว้างยิ่งของแบบการทดลองวัดที่ 1

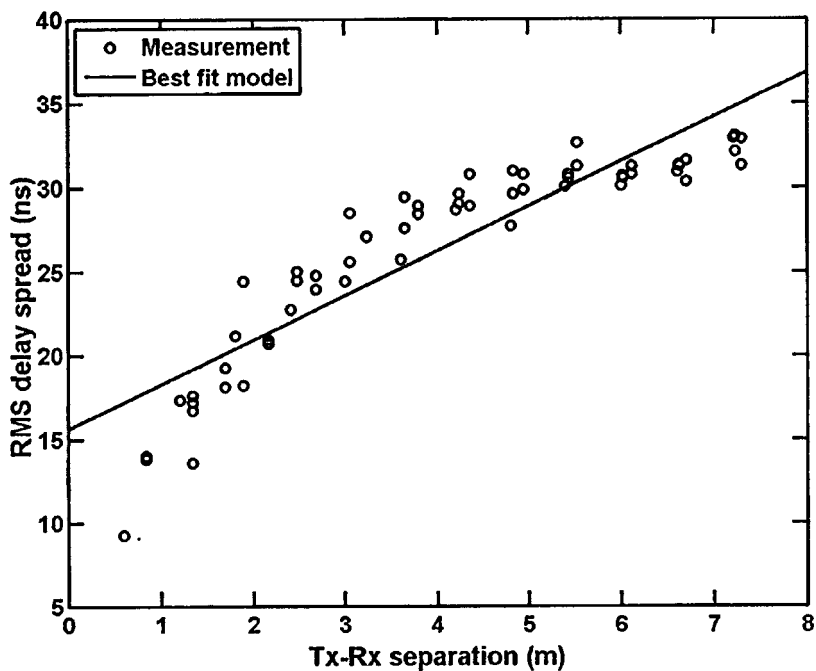
	ค่าเฉลี่ย (Mean)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)
Path loss (dB)	65.66	4.66
Mean excess delay (ns)	5.02	2.57
RMS delay spread (ns)	28.27	1.87

5.2.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองวัดแบบที่ 2

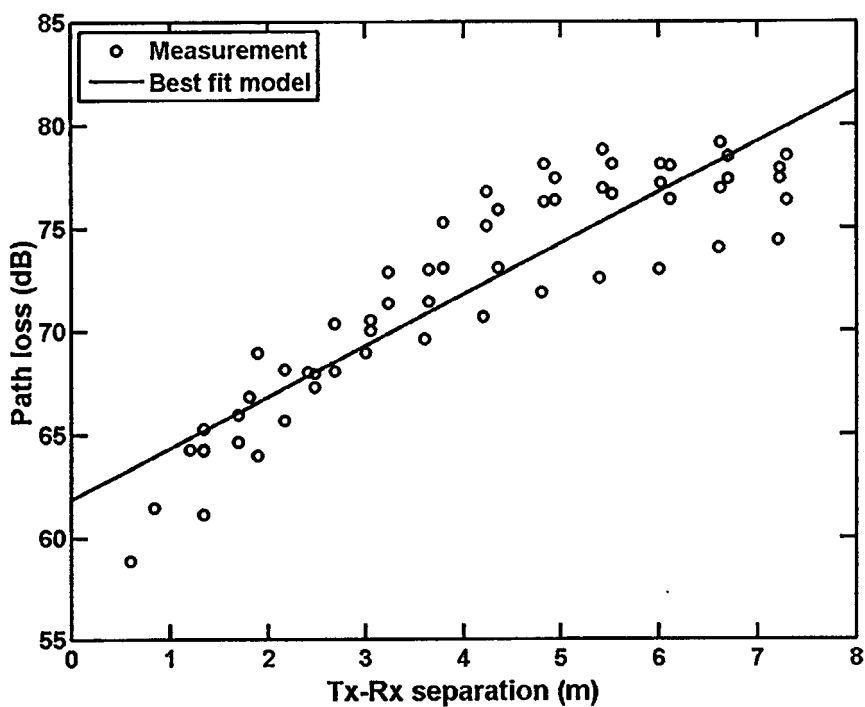
ในผลการทดลองวัดแบบที่ 2 ได้ใช้สายอากาศแบบเส้นตัวนำกลางยึดติดกับแลปท็อปคอมพิวเตอร์ทั้งทางด้านส่งและทางด้านรับและทำการวัดเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆเหมือนกับการทดลองวัดแบบที่ 1 ซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แสดงได้ดังต่อไปนี้



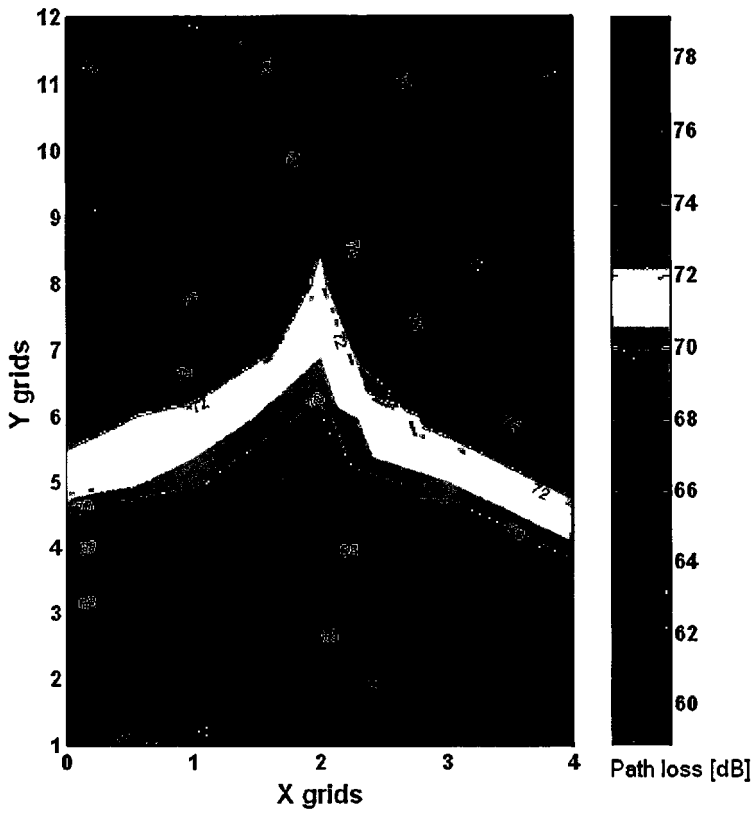
รูปที่ 5.18 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานในแต่ละระยะทางที่มีผลกระทบจากแลปท็อปคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 2)



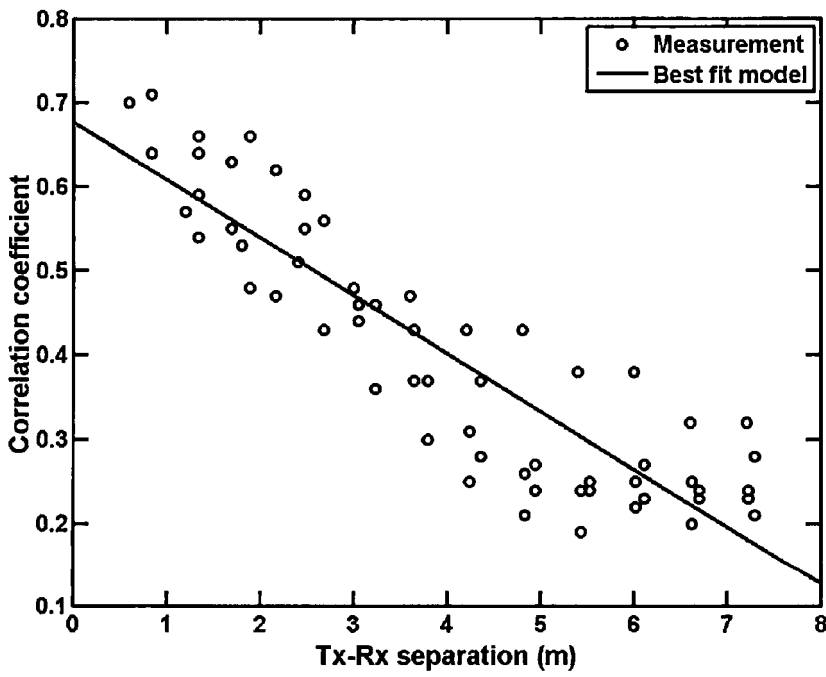
รูปที่ 5.19 ค่าการแผ่ประวิงในแต่ละระยะทางที่มีผลจากแถบที่อปคอมพิวเตอร์
(แบบที่ 2)



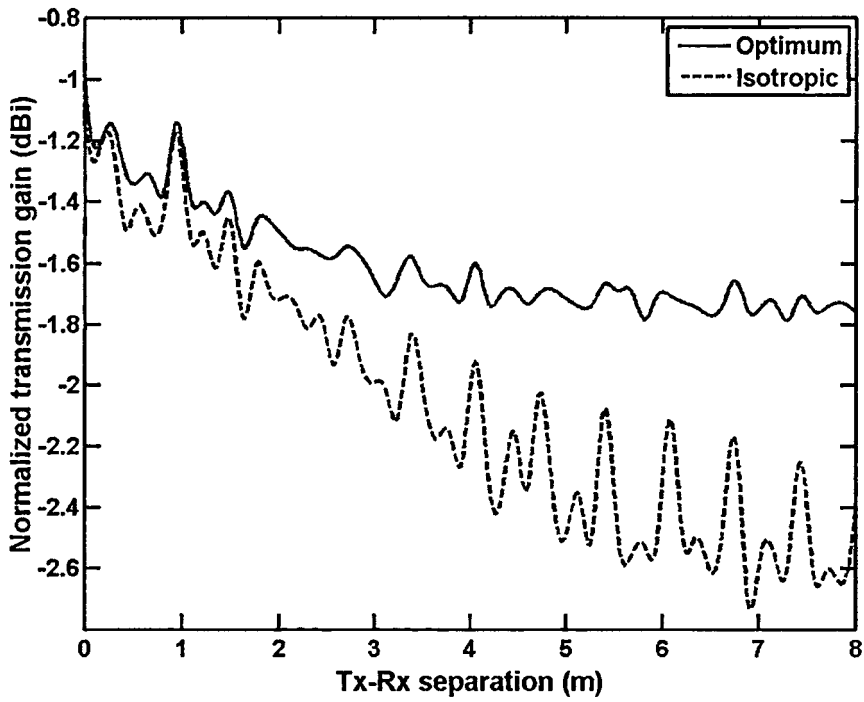
รูปที่ 5.20 ค่าการสูญเสียเชิงวิถีที่เกิดผลกระทบจากแถบที่อปคอมพิวเตอร์
(แบบที่ 2)



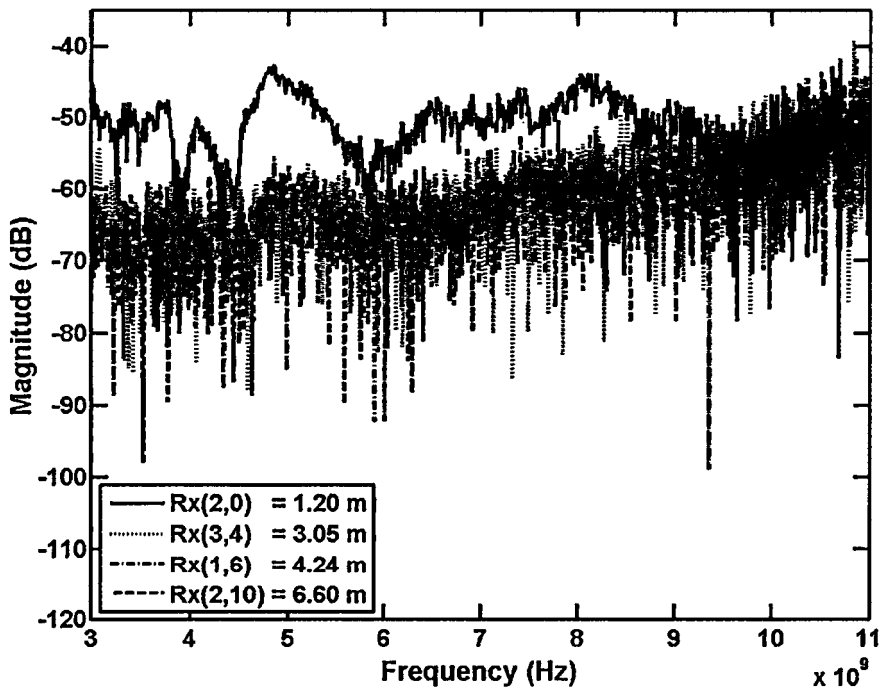
รูปที่ 5.21 Contour แสดงค่าการสูญเสียเชิงวิถีตามแนวกริด (แบบที่ 2)



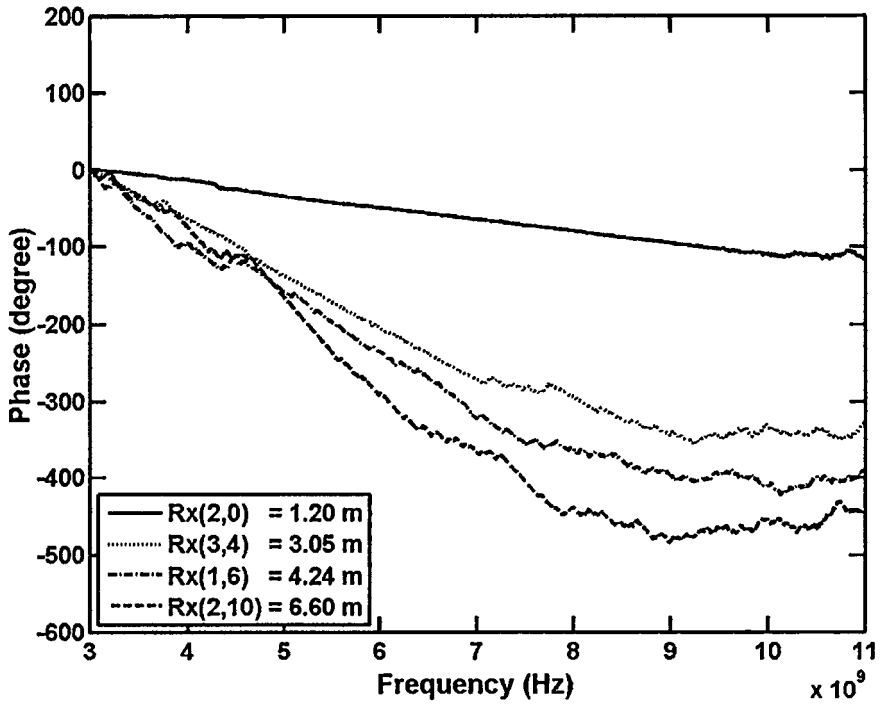
รูปที่ 5.22 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์ (แบบที่ 2)



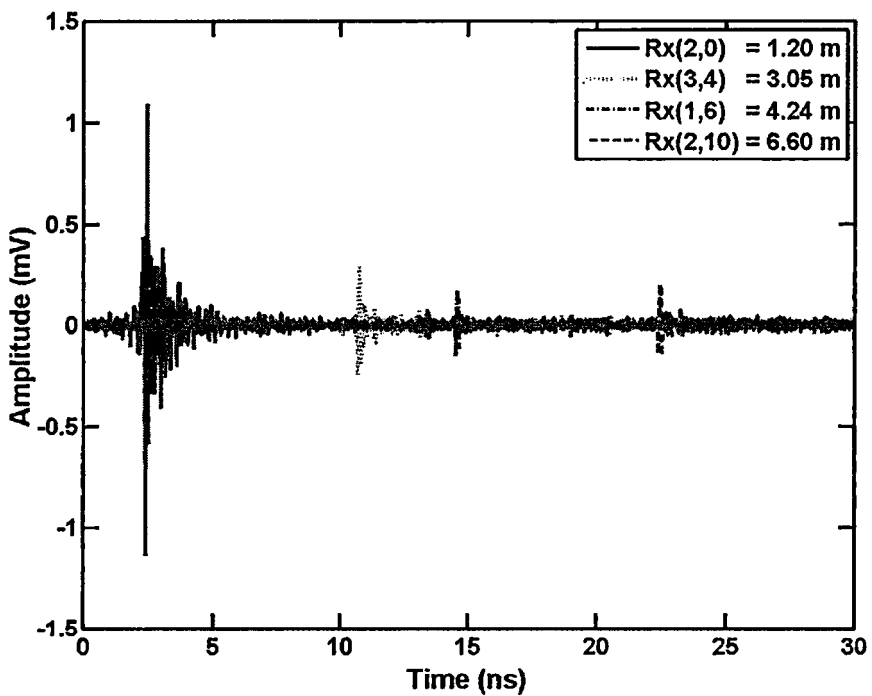
รูปที่ 5.23 ค่าอัตราขยายการส่งผ่านสัญญาณที่มีผลกระทบจากแลปที่อปคอมพิวเตอร์ (แบบที่ 2)



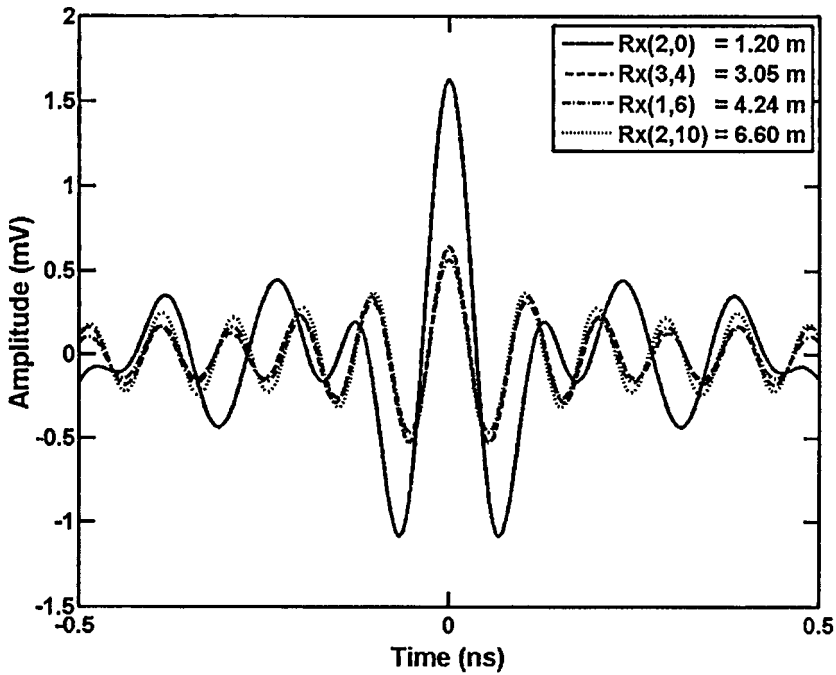
รูปที่ 5.24 ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณ (แบบที่ 2)



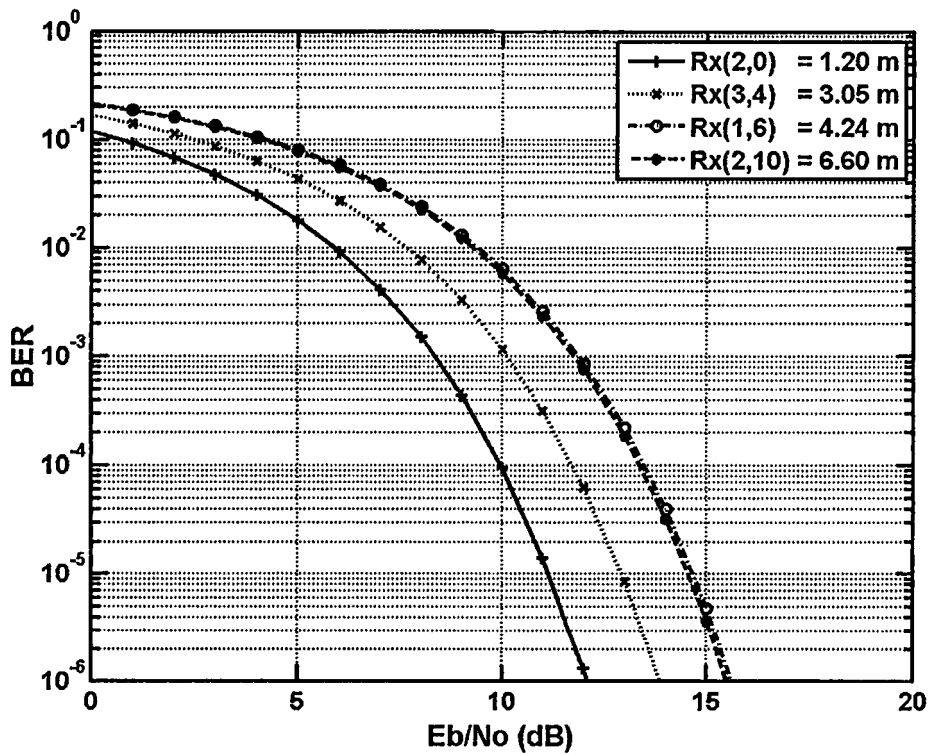
รูปที่ 5.25 เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณ (แบบที่ 2)



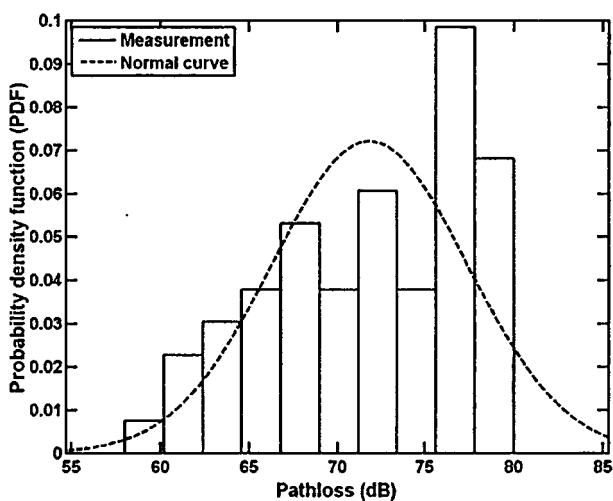
รูปที่ 5.26 สัญญาณที่รับได้ของช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง (แบบที่ 2)



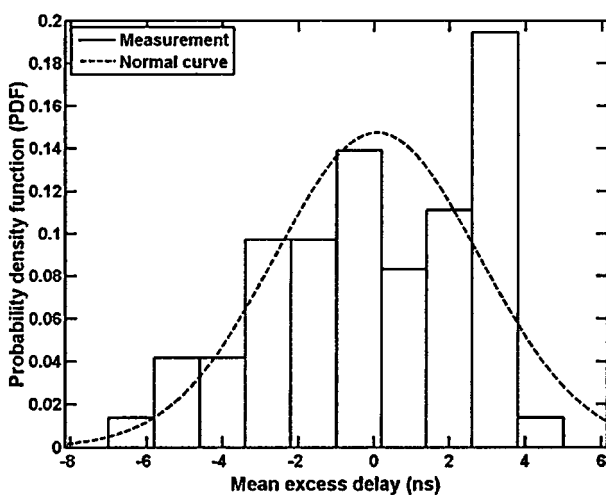
รูปที่ 5.27 ขนาดของสัญญาณที่ผ่านแมตซ์ฟิลเตอร์ที่มีค่าที่ดีที่สุดของช่องสัญญาณแพร่กระจายวิทยุมัลติแบบแถบกว้างยิ่ง (แบบที่ 2)



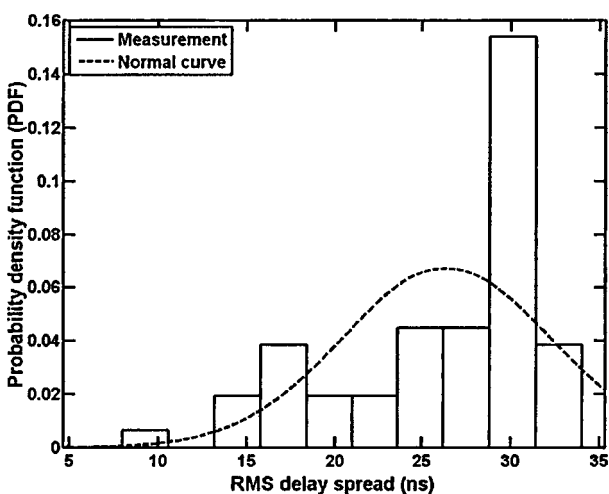
รูปที่ 5.28 อัตราความผิดพลาดบิตของช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุมัลติแบบแถบกว้างยิ่ง (แบบที่ 2)



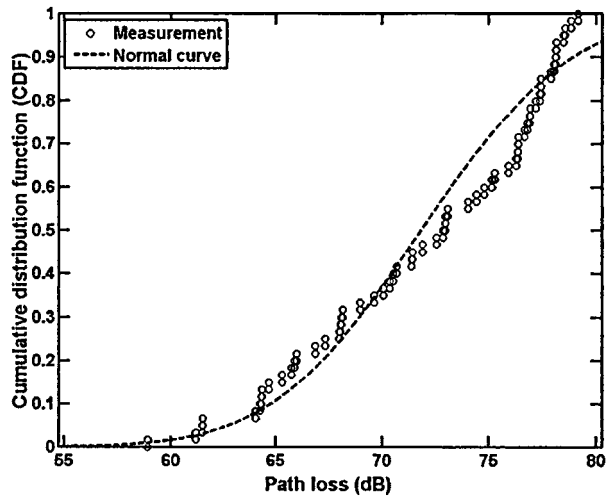
รูปที่ 5.29 ความหนาแน่นความน่าจะเป็นของการสูญเสียเชิงวิถี (แบบที่ 2)



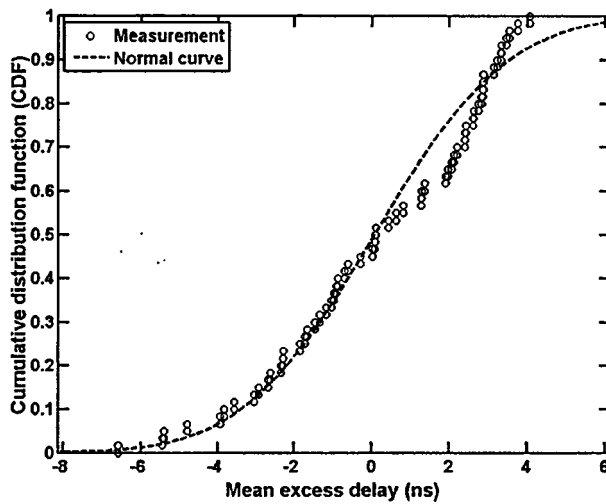
รูปที่ 5.30 ความหนาแน่นความน่าจะเป็นของค่าเฉลี่ยเวลาประวิง (แบบที่ 2)



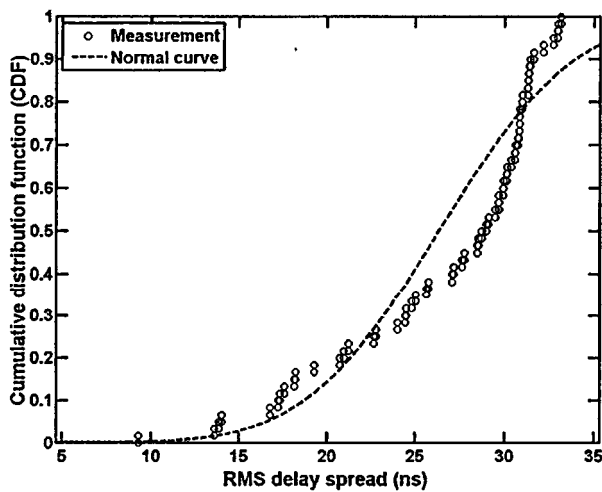
รูปที่ 5.31 ความหนาแน่นความน่าจะเป็นของค่าการแผ่ประวิง (แบบที่ 2)



รูปที่ 5.32 ความหนาแน่นความน่าจะเป็นสะสมของการสูญเสียเชิงวิถี (แบบที่ 2)



รูปที่ 5.33 ความหนาแน่นความน่าจะเป็นสะสมของค่าเฉลี่ยเวลาประวิง (แบบที่ 2)



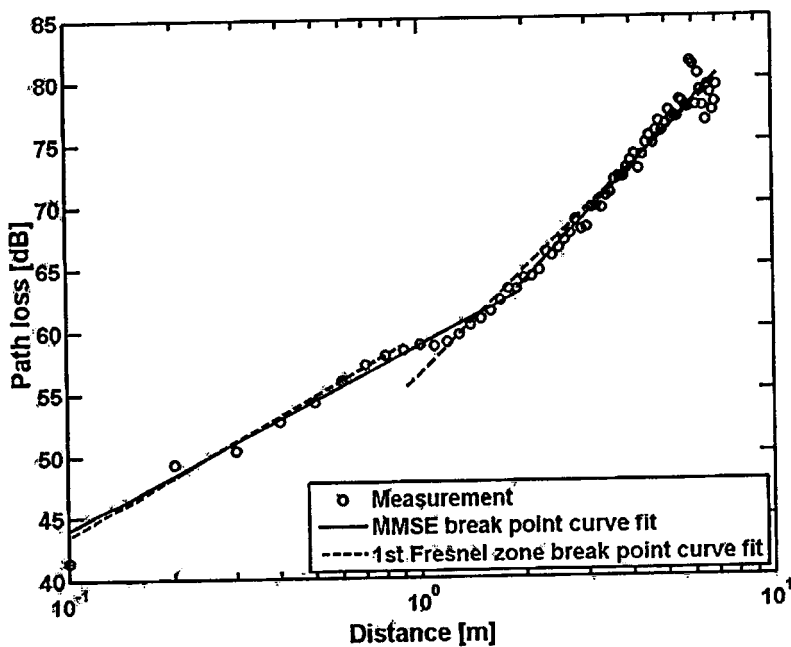
รูปที่ 5.34 ความหนาแน่นความน่าจะเป็นสะสมของค่าการแผ่ประวิง (แบบที่ 2)

ตารางที่ 5.2 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสำหรับช่องสัญญาณการแพร่กระจายแบบแถบกว้างยิ่งของแบบการทดลองวัดที่ 2

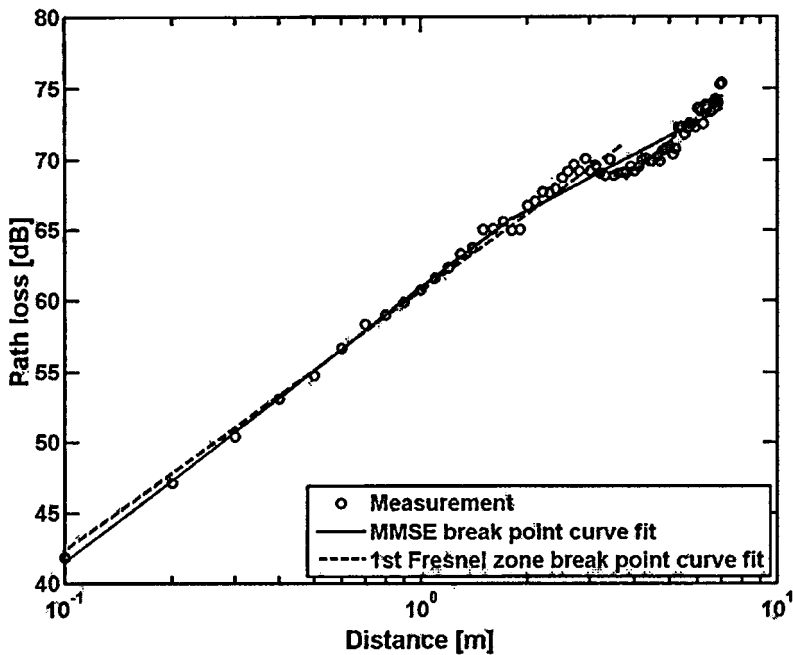
	ค่าเฉลี่ย (Mean)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)
Path loss (dB)	71.83	5.52
Mean excess delay (ns)	0.07	2.70
RMS delay spread (ns)	26.32	5.92

5.2.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองวัดแบบที่ 3

การทดลองวัดแบบที่ 3 เป็นการวัดช่องสัญญาณการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดจากผลกระทบของแถบที่อปคอมพิวเตอร์โดยพิจารณาจากค่าการสูญเสียเชิงวิถีตามเส้นทางในระดับสายคาที่เกิดการสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนพื้นบนโต๊ะประชุม โดยแบ่งการทดลองวัดออกเป็น 2 กรณี คือกรณีที่ 1 ให้สายอากาศทางด้านส่งและทางด้านรับสูง 0.10 เมตร กรณีที่ 2 ให้สายอากาศทางด้านส่งและทางด้านรับสูง 0.20 เมตร ซึ่งทั้งสองกรณีได้ทำการเลื่อนสายอากาศทางด้านรับออกห่างจากสายอากาศทางด้านส่งทีละ 0.10 เมตร ผลการทดลองวัดที่ได้จะนำเสนอในรูปแบบค่าการสูญเสียเชิงวิถีโดยได้นำวิธีการเปรียบเทียบระหว่างวิธีประมาณค่าผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยน้อยสุดและวิธีเฟอ์เนลโซนอันดับที่หนึ่งเพื่อหาระยะทางจุดหักมุม



รูปที่ 5.35 ค่าการสูญเสียที่ความสูงสายอากาศ 0.10 เมตร ที่เปลี่ยนแปลงตามระยะทางด้วยการเปรียบเทียบระหว่างวิธี MMSE และวิธี first Fresnel zone เพื่อหาตำแหน่งจุดหักมุม



รูปที่ 5.36 ค่าการสูญเสียที่ความสูงสายอากาศ 0.20 เมตร ที่เปลี่ยนแปลงตามระยะทางด้วยการเปรียบเทียบระหว่างวิธี MMSE และวิธี first Fresnel zone เพื่อหาตำแหน่งจุดหักมุม

ตารางที่ 5.3 ค่าสัมประสิทธิ์ n_1 , n_2 และระยะจุดหักมุมที่ความสูงของสายอากาศ 0.10 และ 0.20 เมตรด้วยวิธี MMSE และ วิธี first Fresnel zone ตามลำดับ สำหรับการทดลองวัดแบบที่ 3

ความสูง สายอากาศ (เมตร)	วิธี MMSE			วิธี first Fresnel zone		
	ค่า สัมประสิทธิ์ n_1	ค่า สัมประสิทธิ์ n_2	ระยะจุด หักมุม (เมตร)	ค่า สัมประสิทธิ์ n_1	ค่า สัมประสิทธิ์ n_2	ระยะจุด หักมุม (เมตร)
0.10	1.46	3.02	1.85	1.60	2.76	0.91
0.20	1.32	1.94	1.78	1.83	2.18	3.65

5.3 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอผลที่ได้จากการทดลองวัดจริงและการวิเคราะห์ผลของสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารที่มีผลกระทบอันเนื่องมาจากแลปท็อปคอมพิวเตอร์ โดยแสดงให้เห็นถึงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งการทดลองวัดในงานวิจัยนี้มีด้วยกันทั้งหมด 3 แบบ

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 กล่าวนำ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เกิดแนวความคิดที่ว่าอุปกรณ์เชื่อมต่อที่ใช้งานร่วมกันในโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลแบบไร้สายหรือการสื่อสารระยะสั้นภายในสำนักงานและที่พักอาศัยในปัจจุบัน อาทิเช่น วิดีโอ, โปรเจคเตอร์, เครื่องปริ้นเตอร์, แล็ปท็อปคอมพิวเตอร์ เป็นต้น ต้องการอัตราการส่งข้อมูลที่มีความเร็วสูง มีกำลังงานในการส่งต่ำ ราคาต้นทุนในการสร้างต่ำและสามารถรองรับผู้ใช้งานได้จำนวนมากนอกเหนือจากเทคโนโลยีเดิมอย่าง Wi-Fi หรือ Bluetooth ดังนั้นแล้วเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งจึงเป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่สามารถรองรับความต้องการเหล่านี้ได้จากสาเหตุที่ว่าเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งในอนาคตข้างหน้าเมื่อนำมาประยุกต์ใช้งานสำหรับระบบการสื่อสารไร้สายจะถูกทำเป็นชิ้นส่วนชิปหรืออุปกรณ์ไอซีที่ใช้สำหรับคอมพิวเตอร์เป็นหลักเพื่อทำการเชื่อมโยงและถ่ายโอนข้อมูล เช่น ข้อมูลภาพ เสียง เป็นต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงถึงเห็นว่าการศึกษาและวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพของช่องสัญญาณการแพร่กระจายคลื่นของระบบวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งที่มีแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์ในสถานะแวดล้อมภายในอาคารสำหรับโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างมากสำหรับเป็นพื้นฐานในการศึกษาวิจัยและพัฒนาระบบต่อไป

6.2 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้ได้วิเคราะห์ประสิทธิภาพของสัญญาณส่งผ่านสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งที่มีผลกระทบจากแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์โดยพิจารณาถึงการประยุกต์ใช้งานจริงภายในสถานะแวดล้อมในอาคารในช่วงความถี่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz โดยการทดลองวัดจริงบนโต๊ะประชุมทั้งหมด 3 แบบ

การทดลองวัดแบบที่ 1 ใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ยึดติดกับแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์ให้เป็นสายอากาศทางด้านส่งและวางอยู่กับที่ส่วนสายอากาศทางด้านรับใช้สายอากาศแบบเส้นตัวนำกลางยึดติดกับแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์และมีการเลื่อนตำแหน่งระยะทางตามกริดรวมทั้งสิ้น 60 ตำแหน่ง

การทดลองวัดแบบที่ 2 มีลักษณะคล้ายกับแบบการทดลองวัดที่ 1 แต่เปลี่ยนสายอากาศทางด้านส่งให้เป็นสายอากาศชนิดเดียวกับทางด้านรับคือใช้สายอากาศแบบเส้นตัวนำกลางและมีการเลื่อนตำแหน่งระยะทางตามกริดเป็นจำนวนทั้งสิ้น 60 ตำแหน่ง

ผลที่ได้จากการทดลองวัดแบบที่ 1 และแบบที่ 2 เห็นได้ว่าเมื่อทำการเปลี่ยนชนิดของสายอากาศทางด้านส่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จะมีการเปลี่ยนแปลง นั้นแสดงให้เห็นว่าช่องสัญญาณการแพร่กระจายคลื่นจะส่งผลให้คุณลักษณะความถี่ของสายอากาศเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย จากผลการทดลองวัดที่ได้จะเห็นว่าสายอากาศแบบกรวยคู่จะมีประสิทธิภาพดีกว่าสายอากาศแบบเส้นตัวนำกลางทั้งนี้เนื่องมาจากโครงสร้างและคุณสมบัติของสายอากาศที่นำมาใช้งานมีขนาดใหญ่และมีอัตราการขยายต่ำเกือบเข้าใกล้ 0 dB ทำให้สามารถแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทางได้ดีอีกด้วย

ผลการทดลองวัดแบบที่ 3 ด้านส่งและด้านรับใช้สายอากาศแบบเส้นตัวนำกลางและเลื่อนตำแหน่งระยะทางสายอากาศทางด้านรับในระดับสายตาเป็นระยะทางทั้งหมด 70 ตำแหน่ง โดยมีระยะห่างระหว่างสายอากาศทั้งสองด้านตำแหน่งละ 0.10 เมตร และมีการเปลี่ยนระดับความสูงของสายอากาศคือ 0.10 เมตรและ 0.20 เมตร เพื่อดูค่าการสูญเสียเชิงวิถีของกำลังงานที่เกิดจากการสะท้อนพื้นเมื่อระยะทางเปลี่ยนไปโดยพิจารณาถึงจุดหักมุม ซึ่งได้ใช้วิธีการประมาณค่าการถดถอยของกำลังสองแบบเชิงเส้นที่น้อยที่สุดและวิธีเฟอร์เนล โซนอันดับที่หนึ่งในการคำนวณแบบ Double linear regression model จะเห็นว่าวิธีเฟอร์เนล โซนอันดับที่หนึ่งสามารถกำหนดคุณลักษณะค่าการสูญเสียเชิงวิถีสำหรับบริเวณสนามก่อนที่จะเกิดระยะจุดหักมุมและบริเวณสนามหลังจากเกิดระยะจุดหักมุมวิธีการประมาณค่าการถดถอยของกำลังสองแบบเชิงเส้นที่น้อยที่สุดเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องนำมาใช้พิจารณาด้วย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งยวดที่มีแถบที่อปคอมพิวเตอร์ในสถานะแวดล้อมภายในอาคารสำหรับการประยุกต์ใช้งานโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลโดยทำการทดลองวัดภายในห้องประชุมภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ ชั้นที่ 12 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เห็นได้ว่าในสถานะแวดล้อมภายในอาคารสัญญาณที่เดินทางออกจากภาครับมายังยังภาคส่งเกิดการลดทอนและสูญเสียกำลังงานที่เกิดจากการสะท้อน, การกระจัดกระจาย และการหักเหกับวัตถุต่างๆ อาทิเช่น ผนัง, เพดาน, โถ้ประชุม ฯลฯ ด้วยสาเหตุที่ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งยวดเป็นระบบที่มีการส่งกำลังงานต่ำมีแบนด์วิดท์ที่กว้างมากดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทข้างต้น ฉะนั้นหากเกิดการ mismatch ของสัญญาณจะทำให้ระบบแบบแถบกว้างยิ่งยวดไม่สามารถตรวจจับสัญญาณได้ ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นว่ามีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องศึกษาและประสิทธิภาพของช่องสัญญาณการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่งยวดในสถานะแวดล้อมภายในอาคารกรณีที่เกิดผลกระทบจากแถบที่อปคอมพิวเตอร์

6.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา

จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของช่องสัญญาณการแพร่กระจายคลื่นวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งยวดที่มีแถบที่อปคอมพิวเตอร์ในสถานะแวดล้อมภายในอาคารจะเห็นว่าสัญญาณที่เดินทาง

จากสายอากาศด้านส่งไปยังสายอากาศด้านรับเกิดการสูญเสียขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะสาเหตุสถานะแวดล้อมที่เราทำการพิจารณา ดังนั้นเราสามารถประเมินค่าสัญญาณในแต่ละเส้นทางที่จะมาถึงยังเครื่องรับด้วยอัลกอริทึมทางการสื่อสาร ยกตัวอย่างเช่น การพิจารณาถึงเวลาที่มาถึงยังภาครับแต่ละเส้นทางด้วยวิธี Time of arrival (TOA), การพิจารณาถึงทิศทางของสัญญาณที่มาถึงด้วยวิธี Direction of arrival (DOA) หรือวิธี Angle of arrival (AOA) อีกทั้งยังสามารถประยุกต์สายอากาศแบบแถบกว้างยิ่งชนิดอื่นๆ มาใช้ในการศึกษาทดลองและวิจัยเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของช่องสัญญาณการส่งผ่านดังกล่าวได้อีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Bob Heile. 2001. IEEE 802.15 Working Group for WPAN. [Online]. Available: <http://grouper.ieee.org/groups/802/15/>
- [2] Federal Communications Commission, "Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding Ultra-Wideband Transmission Systems," First Report and Order, FCC 02-48, Apr. 2002.
- [3] M.Ghavami, L.B.Michael and R.Kohno, Ultra wideband signals and systems in communication engineering, England: John Wiley & Sons Ltd. 2004.
- [4] Kazimierz S, and Debra M, Ultra-Wideband Radio Technology, England: John Wiley & Sons Ltd. 2004.
- [5] H.F. Harmuth and S. Ding-Rong, "Antennas for Nonsinusoidal Wave - Part I: Radiators," IEEE Trans. Elec. Mag. Compat., vol. EMC-25, no. 1, pp. 13-24, Feb. 1983.
- [6] H.F. Harmuth and S. Ding-Rong, "Antennas for Nonsinusoidal Wave - Part II: Sensors," IEEE Trans. on Elec. Mag. Compat., vol. EMC-25, no. 1, no. 2, pp. 107-115, May 1983.
- [7] K. Siwiak, "Impact of ultra wide band transmissions on a generic receiver," Proc. 2001 Spring IEEE Veh. Tech. Conf. (VTC), Rhodes, Greece, vol. 2, pp. 1181-1183, May 2001.
- [8] Phanupong Siripornnarachseema, Sathaporn Promwong, Pichaya Supanakoon, Rangson Muanghlua and Nikorn Sukutamtanti. "The Effect of Laptop Computer Shadowing on UWB Propagation in an Indoor Environment" ISCIT 2005, pp. 943-946, Oct. 2005.
- [9] Phanupong Siriporn na rachseema, Sathaporn Promwong, Paisan Sithiyopaskul and Nikorn Sukuthumtanti. "Indoor Measurement and Modeling of Ultra Wideband Antenna with Laptop Computer for Wireless Personal Area Network" ICEMC, Phuket Thailand, 27-29 July 2005.
- [10] United States of America, "Path loss calculations for ultra-wideband signal in indoor environments," ITU-R Document 3K/30-E, pp. 1-14, Nov. 2003.
- [11] H.T. Friis, "A note on a simple transmission formula," Proc. IRE, vol. 34, no. 5, pp. 254-256, May 1946.

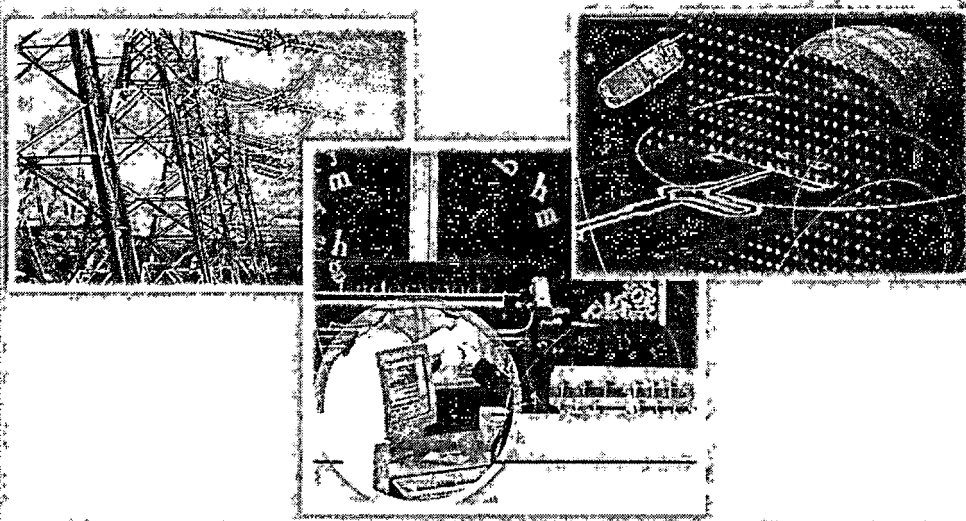
- [12] J. Takada, S. Promwong and W. Hachitani, "Extension of Friis' Transmission Formula for Ultra- Wideband Systems," IEICE Tech. Rep., WBS2003-8/MW2003-20, May 2003.
- [13] S. Promwong, and J. Takada, "Free space link budget estimation scheme for ultra wideband impulse radio with imperfect antennas," IEICE Electronics Express, vol. 1, no. 7, pp. 188-192, July 2004.
- [14] Theodore S. Rappaport, Wireless Communications Principles And Practice, United States of America : Prentice-Hall PTR, inc. 2002.
- [15] Skycross Inc., "3.1 - 10 GHz UWB Antenna for Commercial UWB Applications," <http://www.skycross.com/>

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

- [1] N. Manosittichai, and S. Promwong, "Performance Evaluation of Free Space Transmission Gain for Ultra Wideband Impulse Radio System," ECTI-CON 2007, vol. 2, pp. 923-926, May 2007.
- [2] N. Manosittichai, and S. Promwong, "Experimental Study of Transmission Loss for Ultra Wideband Impulse Radio," APCC 2007, pp. 19-22, Oct. 2007.
- [3] Narongsak Manosittichai, and Sathaporn Promwong, "Performance Analysis of Ultra Wideband Impulse Radio Transmission Loss based on Measurement Data for Wireless Personal Area Networks," APSAEM 08, pp. 299-302, July 2008.



ECTI-CON 2007

*Mae Fah Luang University, Chiang Rai, Thailand
May 9-12, 2007*

VOLUME 1

- Circuits and Systems
- Control Engineering
- Electrical Power Engineering
- Other Related Fields

VOLUME 2

- Communication Systems
- Signal Processing
- Computer and Information



Performance Evaluation of Free Space Transmission Gain for Ultra Wideband Impulse Radio System

Narongsak Manosittichai* and Sathaporn Promwong*

*Department of Information Engineering, Faculty of Engineering,

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,

Chalongkrung Rd., Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.

Email: {s9061058,kpsathap}@kmitl.ac.th

Abstract—An ultra wideband impulse radio (UWB-IR) is applied for short-range system such as wireless local area network (WLAN) and wireless personal area network (WPAN) on office and home networking. The characteristics of indoor propagation channel are very complicated and difficult to predict. Therefore, the performances of transmission signal shall be considered. In this paper, we discuss the performance of UWB-IR transmission signal. The template signal receiver is considered at receiver side to maximize the signal-to-noise ratio (SNR) for evaluation. The experiment results are used to evaluate the transmission signal waveform based on Friis' transmission formula. This technique gives very accurate results and is useful to design and evaluate the UWB-IR systems, especially for the performance evaluations of waveform distortion.

I. INTRODUCTION

Today the wireless personal area networks (WPANs) are required to have high data rate, low power consumption and low cost. The ultra wideband impulse radio (UWB-IR) technology is an ideal candidate focusing on WPAN.

Federal Communications Commission (FCC) is currently working on setting emission limits that would allow UWB-IR communication systems to be deployed on an unlicensed band following the part 15 rules for radiated emissions of intentional radiators [1]. The frequency range of UWB-IR signal for wireless communications is from 3.1 GHz to 10.6 GHz. The UWB-IR transmitter sends pulses with ultra high bandwidth and the UWB-IR receiver collects the power of received signal for rebuilding the pulses. Since the power spectral density (PSD) level of UWB-IR signal may be below the noise level of other systems, UWB-IR technology can exist with other RF technology without interference.

The antennas of UWB-IR communication systems are significantly pulse-shaping filters. Any distortion of the signal in the frequency domain causes the distortion of the transmitting pulse shape. Consequently, this will increase the complexity of the detection mechanism at the receiver [2]. Moreover, low cost, geometrically small and still efficient structures are required for typical wireless applications. Therefore, the antenna design for UWB-IR signal radiation is the one of main challenges [3].

Even if the channel is in line-of-sight (LOS), Friis' transmission formula cannot be directly applied to the UWB-IR system as the bandwidth of the pulse is extremely wide. Furthermore, simple comparison between the waveforms of transmitter and

receiver is not significant because of the distortion of the waveform caused by the frequency response of the antenna.

In this paper, we discuss the free space transmission waveform evaluation scheme for UWB-IR systems. This scheme is based on the Friis' transmission formula, adapted for UWB-IR. The transmitted waveform and the receiver template waveform are keys for the extension of Friis' transmission formula to UWB system. An experiment is carried out using two types of broadband antennas for UWB operation in an indoor environment.

II. ULTRA WIDEBAND THEORY

In this study, we focus on the performance evaluation for UWB-IR system in free space.

A. Extension of Friis' Transmission Formula for UWB transmission System

UWB-IR transmission systems have attracted a great deal of attention because of its potential applications on short-range, high-speed, and low-power wireless communications. In order to minimize the interference with existing systems, UWB is expected to be mainly used in indoor wideband environments.

In narrowband systems, the link budget of the free space propagation loss is usually estimated by using Friis' transmission formula [4]. 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. [5] 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.

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

where G_r and G_t are Rx and Tx antenna gain,

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

is the free space propagation gain (less than unity in practice), $\lambda = \frac{c}{f}$ is the wavelength, c is the velocity of the light, f

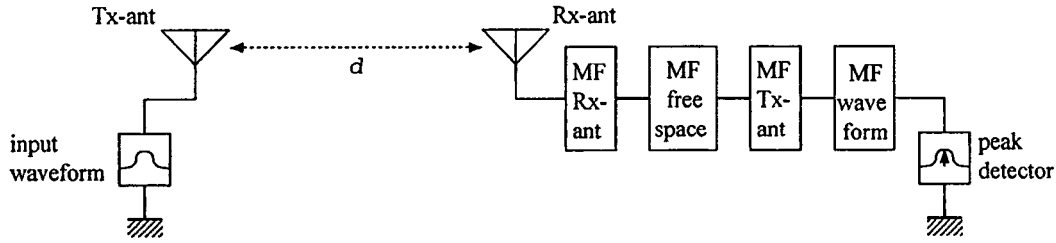


Fig. 1. Block diagram of transmission system for UWB-IR signal.

is the operating frequency, and d is the separation between transmitter and receiver antennas.

It is noted, however, that Eq. (1) is satisfied only at some 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 [6], [7].

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

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

where

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

Friis' formula is extended taking into account the transmission waveform as

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

where

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

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

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

is the free space transfer function where

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

is the propagation constant. Unit vectors $\hat{\theta}_a$, $\hat{\varphi}_a$ express the polarization and are defined with respect to the local polar coordinates of each of the antennas. The following relations can be easily derived.

$$\hat{\theta}_r = \hat{\theta}_t, \quad (9)$$

$$\hat{\varphi}_r = -\hat{\varphi}_t. \quad (10)$$

At the receiver, the matched filter $H_{MF}(f)$ is introduced to maximize the signal-to-noise ratio (SNR) of the receiver

output, as shown in Figure 1.

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

which satisfies the following constant noise output power condition

$$\int_{-\infty}^{\infty} |H_{MF}(f)|^2 df = 1. \quad (12)$$

In this case, the output waveform when $E_i = 1$, and the spectrum of the receiver output are $h_{e\text{-Friis}}(t)$ and $H_{e\text{-Friis}}(f)$, respectively. The waveform of the output from the matched filter $v_{MF}(t)$ and the spectrum of the output from the matched filter $V_{MF}(f)$ are

$$\begin{aligned} v_{MF}(t) &= h_{e\text{-Friis}}(t) * h_{MF}(t) \\ &= \frac{h_{e\text{-Friis}}(t) * h_{e\text{-Friis}}(-t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} h_{e\text{-Friis}}^2(t) dt}}, \quad (13) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{MF}(f) &= H_{e\text{-Friis}}(f) H_{MF}(f) \\ &= \frac{|H_{e\text{-Friis}}(f)|^2}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H_{e\text{-Friis}}(f)|^2 df}}, \quad (14) \end{aligned}$$

taking its maximum as

$$\begin{aligned} \max_t v_{MF}(t) &= \int_{-\infty}^{\infty} V_{MF}(f) df \\ &= \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H_{e\text{-Friis}}(f)|^2 df}. \quad (15) \end{aligned}$$

Equation (15) is the UWB extension of Friis' transmission formula. It includes three elements, namely the frequency characteristics of the antennas, the frequency characteristics of free space propagation, and the spectrum of the transmit signal. It is clear from Eq. (15) that the transmission gain of the UWB signal can not be defined as the product of gains of antennas and a free space channel as Friis' formula (1). Instead, the total transmission gain including the effect of the waveform can be obtained as Eq. (15). For the normalization, the reference isotropic antenna with $H_{iso}(f) = 1$ is considered. The UWB transmission gain can be defined as

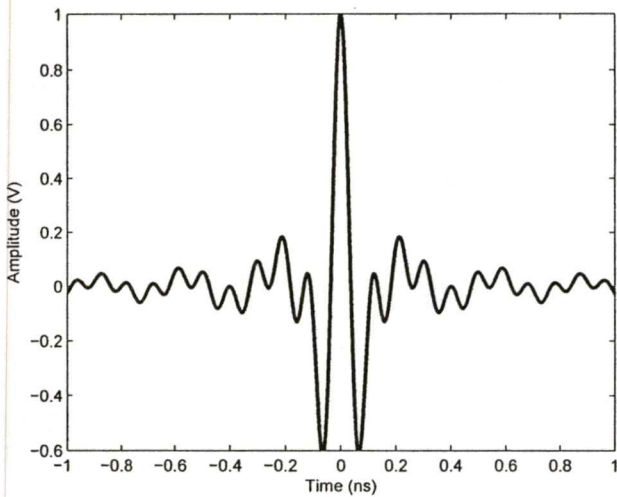


Fig. 2. The transmission waveform of UWB-IR signal.

$$G_{\text{UWB}} = \max_t v_{\text{MF}}(t) / \max_t v_{\text{MF, Iso}}(t). \quad (16)$$

III. MEASUREMENT SYSTEMS

A. UWB Signal Model

The rectangular density spectral waveform covering the FCC band [8], i.e., that is 3.1 GHz \sim 10.6 GHz is used to test the distortion of the received UWB waveform. The UWB transmission signal is set in the full UWB spectrum bandwidth. The minimum and maximum frequencies are $f_{\min} = 3.1$ GHz and $f_{\max} = 10.6$ GHz, respectively. The spectral bandwidth is $f_b = 7.5$ GHz and equation is

$$v_t(t) = \frac{1}{f_b} [f_{\max} \text{sinc}(2f_{\max}t) - f_{\min} \text{sinc}(2f_{\min}t)] \quad (17)$$

where $f_{\min} = 3.1$ GHz, $f_{\max} = 10.6$ GHz, $f_b = f_{\max} - f_{\min}$ and $\text{sinc}(x) = \sin(\pi x)/(\pi x)$. This signal waveform in time domain is shown in Fig. 2.

B. Experimental Setup and Measurement Model

The vector network analyzer (VNA) was operated in the response measurement mode, where Port-1 was the transmitter port (Tx) and Port-2 was the receiver port (Rx), respectively. The Tx antenna is a Biconical antennas with the maximum diameter of 65.3 mm and the length of 37 mm used as the standard antennas [9]. The Rx antenna is a commercial, small-size, low profile antenna developed by Skycross Lnc.,(USA) [10] used as the AUT. The measurement was done in the meeting room at Department of Information Engineering (KMITL). Tx and Rx antenna are fixed on laptop computer at the height of 1.40 m from ground. Rx antenna is separated at a distance of 1.43 m.

It is noted that the calibration is done at the connectors of the cables to be connected to the antennas. Therefore, all the

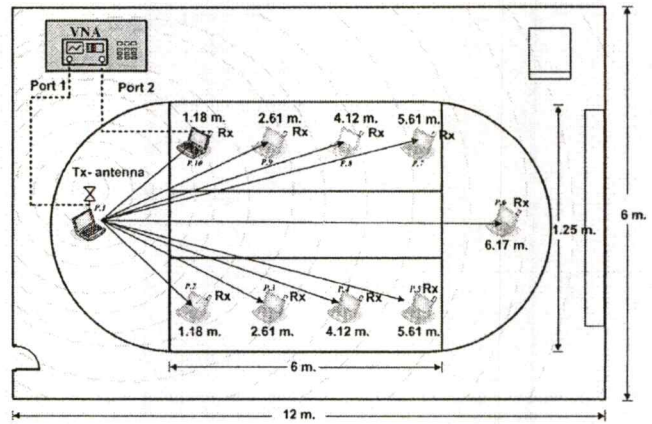


Fig. 3. The measurement model setup.

TABLE I
EXPERIMENTAL SETUP PARAMETERS.

Parameter	Value
Frequency range	3 GHz to 11 GHz
Number of frequency points	801
Dynamic power range	80 dB
Tx antenna height	1.40 m
Rx antenna height	1.40 m
Distance between Tx and Rx	1.18 to 6.17 m

impairments of the antenna characteristics are included in the measured results. The setup is sketched in Fig. 3.

C. Parameters of Experiment and Calibration Techniques

The important parameters for the experiments are listed in Table I.

IV. RESULTS AND DISCUSSION

From the results of experiment by using the VNA. The data measured shows that BER of signal will be considered in two part are effect from opening and closing laptop computer.

Fig.4. shows BER performance of correlation receiver for UWB-IR with laptop computer (open). The transmitted rate has increasing BER when SNR has risen in every points of observation. Moreover, in the 2nd position (P.2) has the minimum BER because of the distance that is too close (1 m). However, in the 6th position (P.6) has the maximum BER because the received antenna is too far (6.17 m).

Fig.5. shows BER performance of correlation receiver for UWB-IR with laptop computer (closed). From analytical result, transmitted rate has decreasing BER when SNR has risen in every points of observation. Moreover, in the 2nd position (P.2) has the minimum BER and the 6th position (P.6) has the maximum BER, respectively. In the same way of laptop computer (open) case.

V. CONCLUSION

In this paper, we discuss the performance evaluation of free space transmission gain with laptop computer for UWB-IR, which comparison between opening and closing laptop

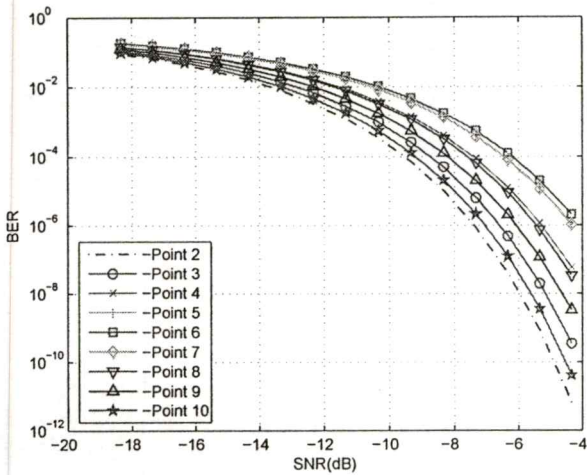


Fig. 4. BER performance of correlation receiver for UWB impulse radio with laptop computer : open.

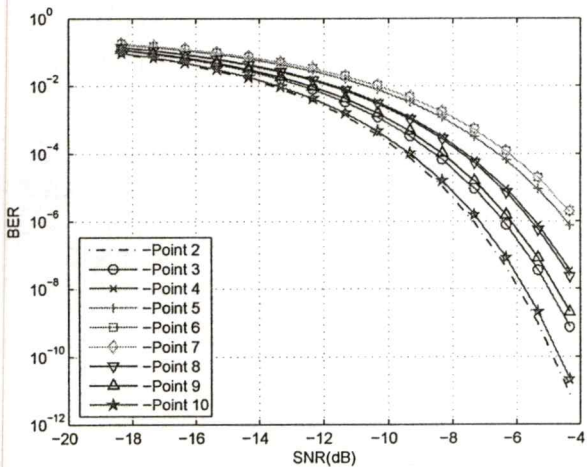


Fig. 5. BER performance of correlation receiver for UWB impulse radio with laptop computer : closed.

computer. Every points of investigation express a BER of an opening part is more increasing than close one. Obviously, BER varies to distance between transmitted and received antenna and setting position of antenna.

REFERENCES

- [1] K. Siwiak, "Impact of ultra wide band transmissions on a generic receiver," Proc. 2001 Spring IEEE Veh. Tech. Conf. (VTC), Rhodes, Greece, vol. 2, pp. 1181-1183, May 2001.
- [2] H.F. Harmuth and S. Ding-Rong, "Antennas for Nonsinusoidal Wave — Part I: Radiators," IEEE Trans. Elec. Mag. Compat., vol. EMC-25, no. 1, pp. 13-24, Feb. 1983.
- [3] H.F. Harmuth and S. Ding-Rong, "Antennas for Nonsinusoidal Wave — Part II: Sensors," IEEE Trans. on Elec. Mag. Compat., vol. EMC-25, no. 1, no. 2, pp. 107-115, May 1983.
- [4] H.T. Friis, "A note on a simple transmission formula," Proc. IRE, vol. 34, no. 5, pp. 254-256, May 1946.
- [5] United States of America, "Path loss calculations for ultra-wideband signals in indoor environments," ITU-R Document 3K/30-E, pp. 1-14, Nov. 2003.

- [6] J. Takada, S. Promwong and W. Hachitani, "Extension of Friis' Transmission Formula for Ultra-Wideband Systems," IEICE Tech. Rep., WBS2003-8/MW2003-20, May 2003.
- [7] A.H. Mohammadian, A. Rajkotia, and S.S. Soliman, "Characterization of UWB Transmit-Receive Antenna System," Proc. IEEE Conf. Ultra Wideband Syst. Tech. (UWBST) 2003, Nov. 2003.
- [8] Federal Communications Commission, "Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding Ultra-Wideband Transmission Systems," First Report and Order, FCC 02-48, Apr. 2002.
- [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] Skycross Inc., "3.1 - 10 GHz UWB Antenna for Commercial UWB Applications," <http://www.skycross.com/>



APCC 2007

2007 Asia-Pacific Conference on Communications

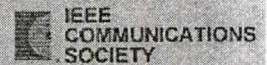
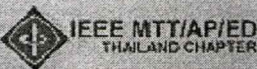
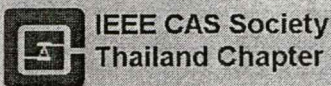
October 18-20, 2007

Bangkok, Thailand

PROCEEDINGS



IEEE COMMUNICATIONS SOCIETY THAILAND CHAPTER



Experimental Study of Transmission Loss for Ultra Wideband Impulse Radio

Narongsak Manositthichai* and Sathaporn Promwong*

*Department of Information Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Chalongkrung Rd., Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.
Email: {s9061058,kpsathap}@kmitl.ac.th

Abstract—An ultra wideband impulse radio (UWB-IR) is applied for short-range system such as wireless personal area network (WPAN) in office and home network. The characteristics of transmission signal are very complicated and difficult to predict. Therefore, the performances of transmission gain should be considered. In this paper, an experimental study of transmission loss for UWB-IR is presented. We discuss the characteristics of UWB-IR transmission system. The rectangular passband waveform is used as the UWB-IR transmitted waveform. The transfer functions of channels are measured in the convention room using vector network analyzer (VNA). The matched filter is considered at receiver side to maximize the signal-to-noise ratio (SNR). The optimum received signal, the relative gain and correlation coefficient are evaluated and shown.

I. INTRODUCTION

A wireless personal area network (WPAN) is a wireless ad hoc data communications system which allows a number of independent data devices to communicate with each other. All of these technologies were required to have high data rate, low power consumption and low cost. The ultra wideband impulse radio (UWB-IR) technology is an ideal candidate focusing on WPAN.

Federal Communications Commission (FCC) is currently working on setting emission limits that would allow UWB-IR communication systems to be deployed on an unlicensed band following the part 15 rules for radiated emissions of intentional radiators. The frequency range of UWB-IR signal for wireless communications is from 3.1 GHz ~ 10.6 GHz [1]. The UWB-IR transmitter sends pulses with ultra high bandwidth and the UWB-IR receiver collects the power of received signal for rebuilding the pulses.

The antennas of UWB-IR communication systems are significant in pulse-shaping filters. Any distortion of the signal in the frequency domain causes the distortion of the transmitting pulse shape. Consequently, this will increase the complexity of the detection mechanism at the receiver [2]. Moreover, low cost, geometrically small and still efficient structures are required for typical wireless applications. Therefore, the antenna design for UWB-IR signal radiation is the one of main challenges [3].

Even if the channel is in line-of-sight (LOS), Friis' transmission formula cannot be directly applied to the UWB-IR system because the bandwidth of the pulse is extremely wide. Furthermore, simple comparison between the waveforms

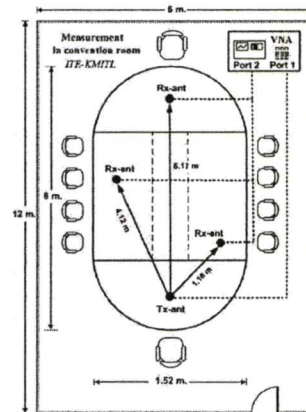


Fig. 1. The measurement model setup (convention room at department of Information Engineering (KMITL)).

of transmitter and receiver is not significant because of the distortion of the waveform caused by the frequency response of the antenna.

In this paper, we proposed the double directional channel modeling for UWB-IR systems. This scheme is based on the Friis' transmission formula, adapted for UWB-IR. The transmitted waveform and the matched filter are keys for the extension of Friis' transmission formula to UWB-IR system. An experiment is carried out using two types of broadband antennas for UWB-IR operation in an indoor environment.

II. DESCRIPTION OF CHANNEL MODELING MEASUREMENT SCHEMES

In this section, we focus on the experimental study with double directional channel modeling for UWB-IR system.

A. UWB-IR Measurement Model

The channel modeling for UWB-IR transmission system is operated with the vector network analyzer (VNA). The VNA was operated in the response measurement mode, where Port-1 was the transmitter port (Tx) and Port-2 was the receiver port (Rx), respectively. The Tx antenna is a Biconical antennas with the maximum diameter of 65.34 mm and the length of 37 mm used as the standard antennas [4]. The Rx antenna

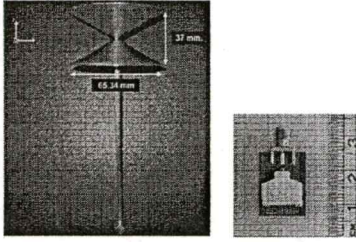


Fig. 2. Biconical and Meander line antenna geometry.

is a commercial, small-size, low profile antenna developed by Skycross Lnc., (USA) [5] used as the antenna under test (AUT). The Biconical antenna and the meander line antenna are shown in Fig. 2.

B. Experimental Setup

The measurement was done in the convention room at Department of Information Engineering (KMITL). Tx and Rx antenna are fixed on laptop computer at the height of 1.40 m from ground. Rx antenna is separated at a distance of 1.16 m, 4.12 m and 6.17 m. 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. The setup is sketched in Fig. 1. The important parameters for the experiments are listed in Table 1.

C. UWB-IR Signal Model

The rectangular density spectral waveform covering the FCC band [6], i.e., that is 3.1 GHz \sim 10.6 GHz is used to test the distortion of the received UWB-IR waveform. The UWB-IR transmission signal is set in the full UWB-IR spectrum bandwidth. The minimum and maximum frequencies are $f_{\min} = 3.1$ GHz and $f_{\max} = 10.6$ GHz, respectively. The spectral bandwidth is $f_b = 7.5$ GHz and equation is

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

where $f_{\min} = 3.1$ GHz, $f_{\max} = 10.6$ GHz, $f_b = f_{\max} - f_{\min}$ and $\text{sinc}(x) = \sin(\pi x)/(\pi x)$. This signal waveform in time domain is shown in Fig. 3.

III. SIGNAL PROCESSING FOR UWB-IR TRANSMISSION SYSTEMS

A. Free Space Model

Friis' transmission formula [7] is usually estimated for a radio circuit made up of a transmitted antenna and a receiving antenna in free space. However, it is not directly applicable to the UWB-IR transmission system as this formula is expressed as a function of the frequency. Moreover, the waveform may be distorted due to the frequency characteristics of the antenna. [8] treats the special cases of the constant gain and the constant aperture but no general discussion had been made.

TABLE I
EXPERIMENTAL SETUP PARAMETERS.

Parameter	Value
Frequency range	3 GHz to 11 GHz
Number of frequency points	801
Dynamic power range	80 dB
Tx and Rx antenna height	1.40 m.
Distance between Tx and Rx	1.16 m., 4.12 m. and 6.17 m.

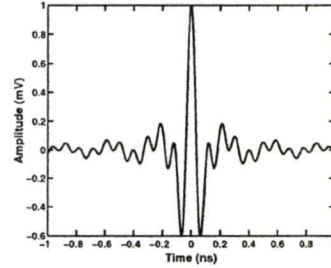


Fig. 3. The transmitted UWB-IR signal waveform.

In spite of, 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.

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

where G_r and G_t are the gains of the receiver (Rx) and transmitter (Tx) antennas, respectively. The free space propagation gain is expressed as

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

is the free space propagation gain (less than unity in practice). $\lambda = \frac{c}{f}$ 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 noted, however, that Eq. (2) is satisfied only at some certain frequency, and is not directly applicable to UWB-IR systems. The Friis' transmission formula shall be extended to take into account the transmission signal waveform and its distortion as well [9], [10].

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

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

where

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

Friis' formula is extended taking into account the transmission waveform as

$$H_{c\text{-Friis}}(f) = \frac{V_r(f)}{E_i} = H_r H_i H_r \cdot H_t, \quad (6)$$

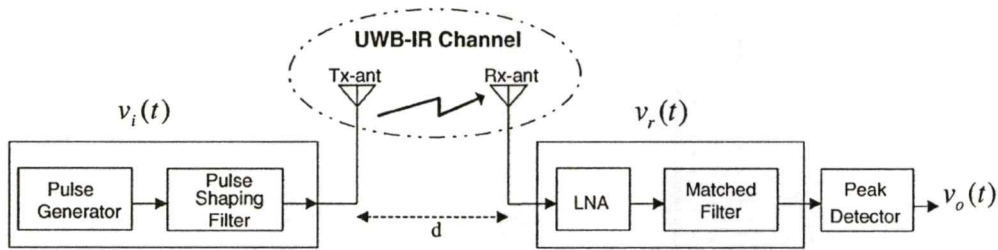


Fig. 4. Block diagram of transmission system for the extension of Friis' transmission formula to treat UWB-IR signal.

where \mathbf{H}_r and \mathbf{H}_t are the transfer functions of the transmitter and receiver antenna, respectively. H_f is the free space transfer function which is expressed as

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

is the free space transfer function where

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

At the receiver, the matched filter $H_{MF}(f)$ is introduced to maximize the SNR of the receiver output, as shown in Fig. 4

$$H_{MF}(f) = \frac{H_{e-Friis}^*(f)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H_{e-Friis}(f)|^2 df}}, \quad (9)$$

which satisfies the following constant noise output power condition

$$\int_{-\infty}^{\infty} |H_{MF}(f)|^2 df = 1. \quad (10)$$

In this case, the output waveform when $E_i = 1$, and the spectrum of the receiver output are $h_{e-Friis}(t)$ and $H_{e-Friis}(f)$, respectively. The waveform of the output from the matched filter $v_{MF}(t)$ and the spectrum of the output from the matched filter $V_{MF}(f)$ are

$$\begin{aligned} v_{MF}(t) &= h_{e-Friis}(t) * h_{MF}(t) \\ &= \frac{h_{e-Friis}(t) * h_{e-Friis}(-t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} h_{e-Friis}^2(t) dt}}, \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} V_{MF}(f) &= H_{e-Friis}(f) H_{MF}(f) \\ &= \frac{|H_{e-Friis}(f)|^2}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H_{e-Friis}(f)|^2 df}}, \end{aligned} \quad (12)$$

taking its maximum as

$$\begin{aligned} \max_t v_{MF}(t) &= \int_{-\infty}^{\infty} V_{MF}(f) df \\ &= \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H_{e-Friis}(f)|^2 df}. \end{aligned} \quad (13)$$

Equation (13) is the UWB-IR extension of Friis' transmission formula. It includes three elements, namely the frequency characteristics of the antennas, the frequency characteristics of free space propagation, and the spectrum of the transmit signal. It is clear from Eq. (13) that the transmission gain of the UWB-IR signal can not be defined as the product of gains of antennas and a free space channel as Friis' formula (2). Instead, the total transmission gain including the effect of the waveform can be obtained as Eq. (13). For the normalization, the reference isotropic antenna with $H_{Iso}(f) = 1$ is considered. The UWB-IR transmission gain can be defined as

$$G_{UWB-IR} = \max_t v_{MF}(t) / \max_t v_{MF,Iso}(t). \quad (14)$$

B. Correlation Coefficient

The correlation coefficient between the impulse response of the received signal and the approximate matched filter by using isotropic antennas are given by

$$\rho(d) = \frac{\max |r_{ab}(\tau)|}{\max |\sqrt{r_a(\tau)r_b(\tau)}|}. \quad (15)$$

where $r_{ab}(\tau)$ is the cross correlation function between signals a and b and $r_a(\tau)$ and $r_b(\tau)$ are the auto-correlation of the signal a and b, respectively.

IV. MEASUREMENT RESULTS AND ANALYSIS

From the experimental results, we show the antenna transfer function and UWB-IR received signal waveform when laptop computer is turn on and turn off in measurement modeling which follow the Fig. 1. The corresponded parameters are used to analyze the UWB-IR system. Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7 and Fig. 8 show the results from these measurements.

Table II shows the overall gain with respect to the isotropic antenna case. For this comparison, the dB value of the gain is not more different when we turn on and turn off laptop computer. Table III summarizes the correlation coefficient of the approximated matched filter.

V. CONCLUSION

In this paper, we have presented the modeling scheme base on Friis' transmission formula extend to account the transmit waveform and the matched filter for the UWB-IR system. The effect from each laptop computer in the case of turn on and turn off are considered. The received UWB-IR signal, the optimum received signal, relative gain, correlation

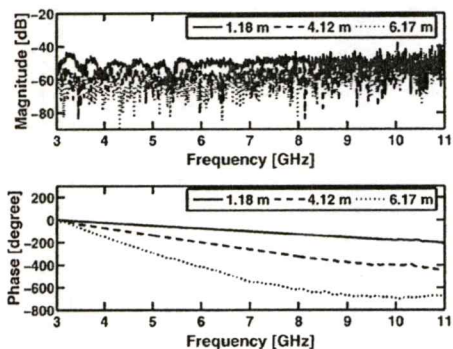


Fig. 5. Magnitude and phase of the UWR-IR transfer function : (turn on)

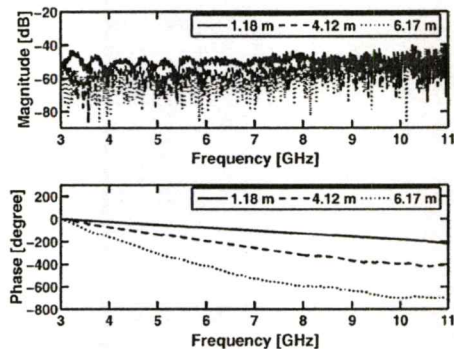


Fig. 7. Magnitude and phase of the UWR-IR transfer function : (turn off)

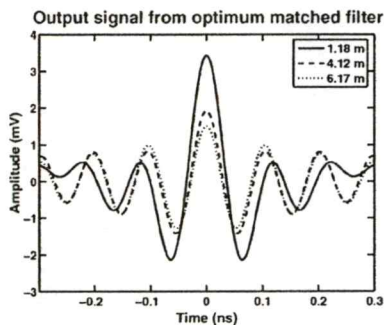


Fig. 6. The received UWB-IR signal waveform of each distances : (turn on)

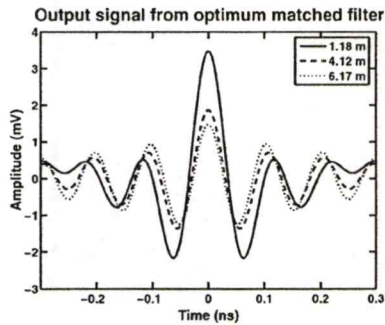


Fig. 8. The received UWB-IR signal waveform of each distances : (turn off)

coefficient are proposed. For further studies, discussions of the performance evaluation for several UWB-IR transmission channel in an indoor environment will be necessary.

REFERENCES

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

TABLE II

RELATIVE GAIN OF (ANTENNAS + MATCHED FILTER), WITH RESPECT TO THE IDEAL ISOTROPIC ANTENNAS.

Distance Tx and Rx	Optimum [dBi]		Isotropic [dBi]	
	turn on	turn off	turn on	turn off
1.16 m	-7.7152	-7.6145	-10.2509	-10.2551
4.12 m	4.5782	4.3588	-10.6858	-10.3665
6.17 m	-0.8145	-1.0856	-10.5189	-10.2100

TABLE III

CORRELATION COEFFICIENT BETWEEN THE IMPULSE RESPONSES OF THE RECEIVED SIGNAL AND THE APPROXIMATE MATCHED FILTER BY USING ISOTROPIC ANTENNAS.

Position	Correlation coefficient		
	1.16 m	4.12 m	6.17 m
Prediction	0.99	0.97	0.75

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

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

[4] 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.

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

[6] Federal Communications Commission, "Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding Ultra-Wideband Transmission Systems," First Report and Order, FCC 02-48, Apr. 2002.

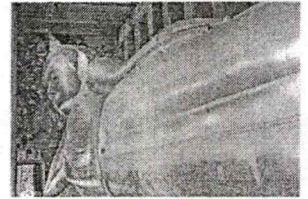
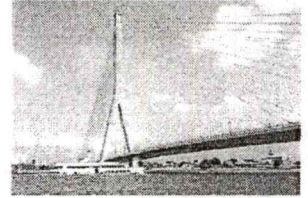
[7] H.T. Friis, "A note on a simple transmission formula," Proc. IRE, vol. 34, no. 5, pp. 254-256, May 1946.

[8] United States of America, "Path loss calculations for ultra-wideband signals in indoor environments," ITU-R Document 3K/30-E, pp. 1-14, Nov. 2003.

[9] 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.

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

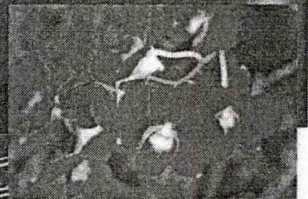
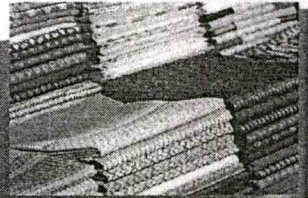
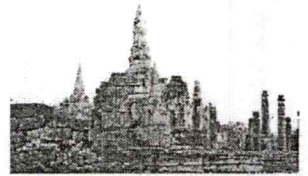
Sponsors



APSAEM08

Bangkok, Thailand, July 24-25, 2008.

Organized by Department of Electrical Technology Education,
King Mongkut's University of Technology Thonburi (KMUTT)



Performance Analysis of Ultra Wideband Impulse Radio Transmission Loss based on Measurement Data for Wireless Personal Area Networks

Narongsak Manosithichai and Sathaporn Promwong
 Department of Information Engineering, Faculty of Engineering,
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520 Thailand
 E-mail: {s9061058, kpsathap}@kmitl.ac.th

In this paper we analyzed the performance of ultra wideband impulse radio (UWB-IR) transmission loss with laptop computer base on measurement data for wireless personal area networks. The ASK signal waveform is used as the transmitted UWB-IR signal. The transmission gain of the transmitted signal and received signal templates and BER of the correlation receiver are compared and shown. The results are discussed and concluded.

Keywords: Ultra wideband impulse radio, transmission gain, UWB, WPANs.

1. INTRODUCTION

A wireless personal area networks (WPANs) is a computer network used for communication among computer devices (PDAs, smartphones laptop computer, etc.) which allows a number of independent data devices to communicate with each other. All of this technology was required to have high data rate, low power consumption and low cost. The ultra wideband impulse radio (UWB-IR) technology is an ideal candidate focusing on WPANs.

Recently, UWB-IR radio technology has becomes an important topic for microwave communication. UWB is different from other radio wave (RF) technology. Instead of using a narrow carrier frequency, UWB-IR transmitted pulses of power in the range of ultra wide frequency spectrum. The Federal Communication Commission (FCC) [1], in US specifies that UWB-IR has a frequency spectrum ranging from 3.1 GHz to 10.6 GHz. The FCC defined UWB-IR signal as those which have a fractional bandwidth greater than 0.20 or a bandwidth greater than 500 MHz measured at -10 dB points. The power density of UWB-IR signal is considered to be noise for other communication systems because its power spectrum is below the noise level. The UWB-IR receiver collects the power of the received signal to rebuild the pulse. Therefore, UWB-IR technology can exist with other RF technology without interference. UWB-IR technology is an ideal candidate that can be utilized for commercial, short range, low power, low cost indoor communication systems such as a wireless personal area networks (WPANs) [2]. The fractional and occupied bandwidth are defined as

$$\text{Occupied bandwidth} = (f_H - f_L), \quad (1)$$

$$\text{Fractional bandwidth} = 2 \frac{f_H - f_L}{f_H + f_L}, \quad (2)$$

where, f_H and f_L are the maximum and minimum frequencies, respectively.

In this paper, we evaluated and investigated for considering the transmission gain of UWB-IR correlation receiver for WPANs. The channels are measured in an indoor environment by using a VNA. The frequency range of measurement is from 3 GHz to 11 GHz with the laptop computer. The performance BER of correlation receiver are shown and compared.

2. UWB-IR BASE ON EXTENSION OF FRIIS' TRANSMISSION FORMULA

UWB-IR transmission systems have attracted a great deal of attention because of its potential applications on short-range, high-speed, and low-power wireless communications. In order to minimize the interference with existing systems, UWB-IR is expected to be mainly used in indoor wideband environments.

In narrowband systems, the link budget of the free space propagation loss is usually estimated by using Friis' transmission formula [3]. However, it is not directly applicable to the UWB-IR 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 [4] 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.

$$G_{\text{Friis}}(f) = \frac{P_r}{P_t} = G_t(f)G_r(f)G_f(f), \quad (3)$$

where G_r and G_t are the gains of the receiver (Rx) and transmitter (Tx) antennas, respectively.

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

is the free space propagation gain (less than unity in practice), $\lambda = c/f$ is the wavelength, c is the velocity of the light, f is the operating frequency

It is noted, however, that Eq. (1) is satisfied only at some certain frequency, and is not directly applicable to UWB-IR systems. The Friis' transmission formula shall be extended to take into account the transmission signal waveform and its distortion as well [5], [6].

The transmitted signal wave form v_t is normalized to transmitted energy of unity. That is express as

$$\int_{-\infty}^{\infty} v_t^2(t) dt = 1. \quad (5)$$

Friis' transmission formula is extended for calculating the UWB-IR free space link budget. For the free space model, the channel transfer function H_c is expressed as

$$H_c(f, d) = H_f(f, d)H_r(f, d)H_t(f, d), \quad (6)$$

where H_f is the free space transfer function can be express as

$$H_f(f, d) = \frac{c}{4\pi|f|d} \exp(-j2\pi fd/c), \quad (7)$$

where d is the transmitter-receiver (T-R) separation distance. This equation is satisfies the causality.

The spectral density of UWB-IR received signal V_r is calculated by using multiplication between H_f and V_t which can be expressed as

$$V_r(f, d) = H_f(f, d)V_t(f), \quad (8)$$

where V_t is the spectral density of the transmitted signal that is calculated by using Fourier transform of its time domain wave form as

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

Because of the frequency transfer functions of transmitted and received signal templates are satisfied the constant noise power condition between input and output, the ratio between peak powers of output and input signals of the receiver, v_o and v_i . Therefore, the transmission gain can be defined as

$$G_{\text{UWB}}[\text{dB}] = 20 \log \left[\frac{\max |v_o(t)|}{\max |v_i(t)|} \right], \quad (9)$$

3. CORRELATION RECEIVER

The correlation receivers with frequency transfer functions satisfied constant noise power [7]-[8], condition between input and output are considered. For correlation, transmitted template and received template signal receivers, the spectral density of template signal is the complex conjugate of V_t and V_r , respectively. Therefore, the frequency transfer functions of correlation receivers, (H_{ct} , H_{cr}) can be written as

$$H_{ct}(f, d) = \frac{\sqrt{2f_b}}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |V_t(f, d)|^2 df}} V_t^*(f, d), \quad (10)$$

$$H_{cr}(f, d) = \frac{\sqrt{2f_b}}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |V_r(f, d)|^2 df}} V_r^*(f, d), \quad (11)$$

where $*$ is the complex conjugate operator.

The spectral densities of out signal from correlation receivers, (V_{ct} and V_{cr}), can be written as

$$V_{ct}(f, d) = H_{ct}(f, d) \cdot V_r(f, d), \quad (12)$$

$$V_{cr}(f, d) = H_{cr}(f, d) \cdot V_t(f, d), \quad (13)$$

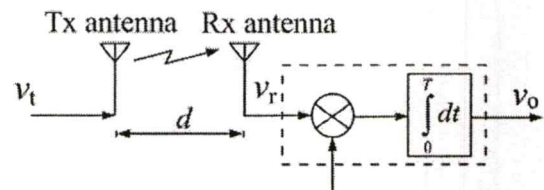


Fig. 1. Block diagram of transmission system for the UWB-IR.

4. MASUREMENT SYSTEM

4.1 UWB-IR signal model

The UWB-IR pulse is the amplitude shifted keying (ASK) pulse covered the FCC band (3.1 ~ 10.6 GHz) with the center frequency and the bandwidth frequency

of $f_0 = 6.85$ GHz and $f_b = 7.5$ GHz, respectively. The transmitted pulse waveform used a single ASK pulse with the carrier frequency f_0 and the pulse length is set to $2/f_b$. Then the signal was limited passband by the Nyquist roll-off filter with $\alpha = 0$ from $f_0 - f_b/2$ to $f_0 + f_b/2$. Fig. 2 shows the transmitted pulse waveform in the time domain and its spectral density.

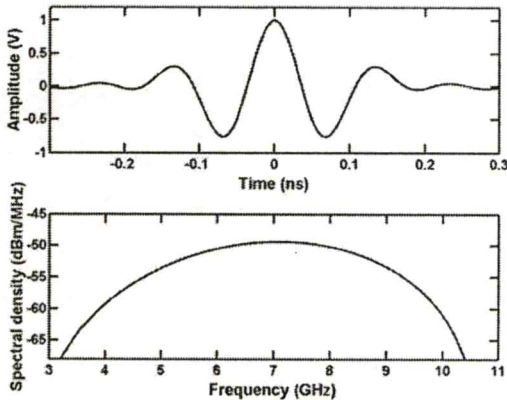


Fig. 2. The transmitted waveform of UWB-IR.

4.2 Parameters of experiment

The important parameters for the experiments are listed in Table I.

Table I: Experiment setup parameters.

Parameter	Value
Frequency range	3 GHz to 11 GHz
Number of frequency points	801
Dynamic power rang	80 dB
Tx antenna height	0.40 m
Rx antenna height	0.40 m
Distance between Tx and Rx	0.60 m
Number of positions	9 positions

4.3 Measurement model and experimental method

The vector network analyzer (VNA) was operated in the response measurement mode, where Port-1 was the transmitter port (Tx) and Port-2 was the receiver port (Rx), respectively. The Tx antenna is a Biconical antennas with the maximum diameter of 65.3 mm and the length of 37 mm used as the standard antennas. The Rx antenna is a commercial, small-size, low profile antenna developed by Skycross Lnc.,(USA) [9] used as the AUT. The measurement was done in the convention room in our Department of Information Engineering (KMITL). Tx and Rx antenna are fixed on laptop computers at the height of 0.40 m from table. Rx antenna is separated at a distance of 0.60 m.

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. The setup is sketched in Fig. 3 and the antennas under test (AUT) are shown in Fig. 4.

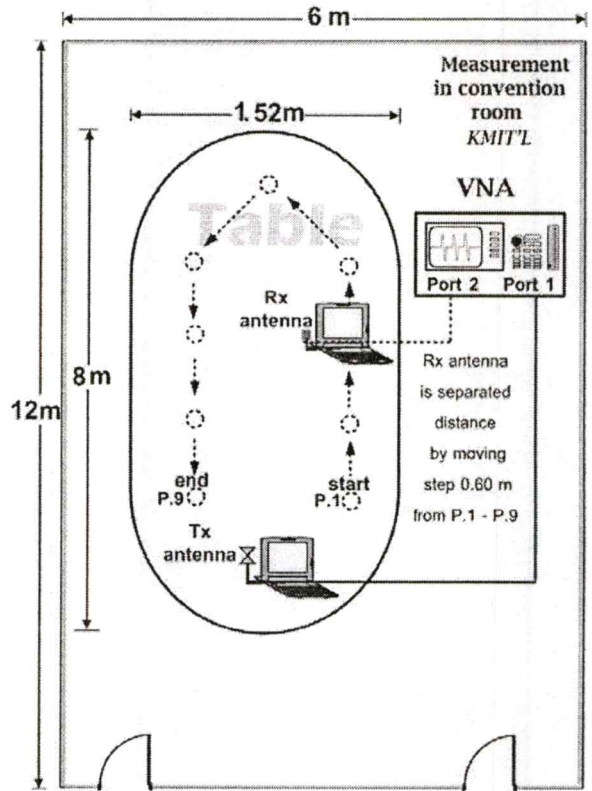
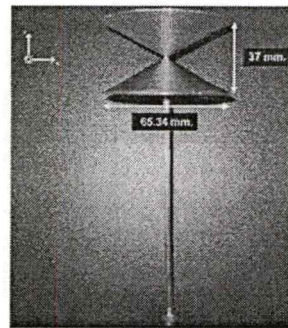


Fig. 3. Measurement setup for UWB-IR system.

(a) Biconical antenna



(b) Meander line antenna

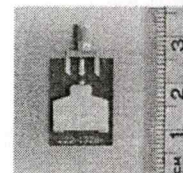


Fig. 4. Antennas under test.

5. MEASUREMENT RESULTS AND DISCUSSION

For considering the transmission gain and BER with correlation receiver, the two case of the effect from turn on and turn off laptop computer.

For the first case of the turn off laptop computer. The transmission gain when we use the received template signal is higher than the transmitted template signal waveform. The transmitted rate has increasing BER when EBN₀ has risen in every positions of observation (P.1 to P.9). The transmission gain and BER of the correlation receiver are shown in Fig. 5 and Fig. 6, respectively.

For the second case of the turn off laptop computer. The transmission gain when we compare by using the transmitted template signal and received template signal waveform and the BER of the correlation receiver are

the same way of laptop computer (turn on). The transmission gain and BER of the correlation receiver are shown in Fig. 7 and Fig. 8, respectively.

It is noted that, from the two case of turn on and turn off computer the received signal template is get the high gain more than the transmitted signal template.

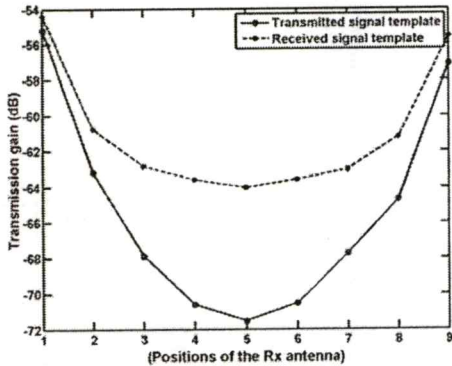


Fig. 5. Transmission gain of the correlation receiver with laptop computer (turn on).

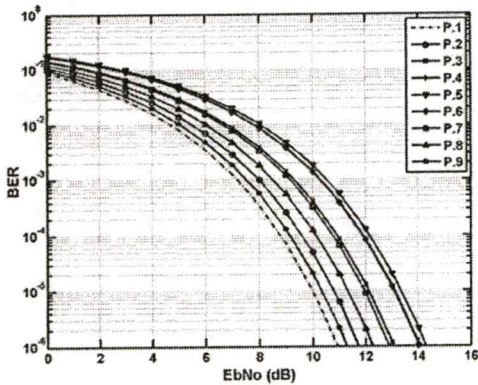


Fig. 6. BER performance of the correlation receiver with laptop computer (turn on).

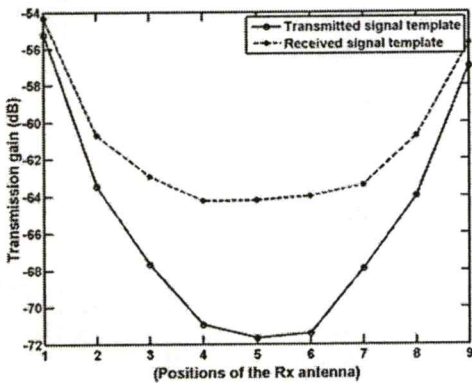


Fig. 7. Transmission gain of the correlation receiver with laptop computer (turn off).

6. CONCLUSION

In this paper, the performance analysis of UWB-IR for WPANs is proposed. The transmitted signal and received signal templates are used and compared for the correlation receiver in two case of the effect from turn on and turn off laptop computer. The transmission gain

and BER of the correlation receiver are shown and discuss. The received signal template is suitable and better than the transmitted signal template. In the future work, the receiver design should consider the effect of channel propagation for optimal reception.

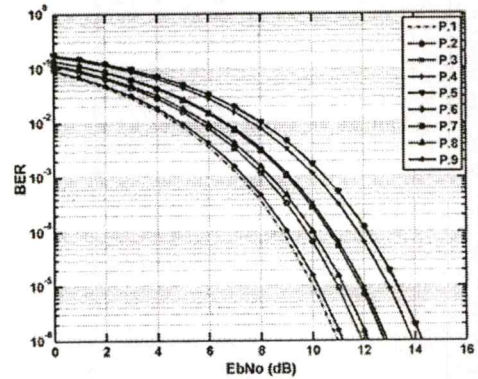


Fig. 8. BER performance of the correlation receiver with laptop computer (turn off).

REFERENCES

- [1] Federal Communications Commission, "Revision of part 15 of the commission's rules regarding UWB transmission systems," *First Report*, FCC 02-48, Apr. 2002.
- [2] K. Siwiak, "Ultra-wide band radio: introducing a new technology," *2001 Spring IEEE Vehicular Technology Conference (VTC)*, vol. 2, pp. 1088-1093, May 2001.
- [3] H.T. Friis, "A note on a simple transmission formula," *Proc. IRE*, vol. 34, no. 5, pp. 254-256, May 1946.
- [4] United States of America, "Path loss calculations for ultra-wideband signals in indoor environments," *ITU-R Document 3K/30-E*, pp. 1-14, Nov. 2003.
- [5] J. Takada, S. Promwong and W. Hachitani, "Extension of Friis' Transmission Formula for UWB Systems," *IEICE Tech. Rep.*, May 2003.
- [6] A.H. Mohammadian, A. Rajkotia, and S.S. Soliman, "Characterization of UWB Transmit-Receive Antenna System," *Proc. IEEE Conf. UltraWideband Syst. Tech. (UWBST) 2003*, Nov. 2003.
- [7] S. Promwong, P. Supanakoon and J. Takada, "Ground Reflection Transmission Loss Evaluation Scheme for Ultra Wideband Impulse Radio," *ECTI Trans. Elec. Mag. Compat.*, vol. 5, no. 1, pp. 18-24, Feb. 2007.
- [8] K. Teplee, P. Supanakoon, S. Promwong, and J. Takada, "BER Performance of UWB Communications with Matched Filter and Correlation Receivers," *The 2007 Electrical Engineering/ Electronics, Computer, Telecommunication and Information Technology International Conference (ECTI-CON 2007)*, pp. 876-879, 9-12 May 2007.
- [9] Skycross Inc., "3.1 - 10 GHz UWB Antenna for Commercial UWB Applications," <http://www.skycross.com/>

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นายณรงค์ศักดิ์ มโนสิทธิชัย
 วัน เดือน ปีเกิด 27 กรกฎาคม 2526 ที่อ. โข่งพิสัย จ.หนองคาย
 ที่อยู่ 4 ซอย อ่อนนุช 73 แขวง/เขต ประเวศ กทม. 10250
 ประวัติการศึกษา 2548 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประสบการณ์การทำงาน

พ.ศ. 2545-2546 ตำแหน่งผู้ช่วยรับเหมาติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในอาคาร สังกัดการไฟฟ้า
 ส่วนภูมิภาคจังหวัดเลย
 พ.ศ. 2549-2551 ตำแหน่งเจ้าหน้าที่วิจัย ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ,
 คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
 ลาดกระบัง

ผลงานวิจัย

- พ.ศ.2550 N. Manosittichai, and S. Promwong, "Performance Evaluation of FreeSpace Transmission Gain for Ultra Wideband Impulse Radio System," ECTI-CON 2007, vol. 2, pp. 923-926, May 2007.
- พ.ศ.2550 N. Manosittichai, and S. Promwong, "Experimental Study of Transmission Loss for Ultra Wideband Impulse Radio," APCC 2007, pp. 19-22, Oct. 2007.
- พ.ศ.2550 Narongsak Manosittichai, and Sathaporn Promwong, "Performance Analysis of Ultra Wideband Impulse Radio Transmission Loss based on Measurement Data for Wireless Personal Area Networks," APSAEM 08, pp. 299-302, July 2008.