

การศึกษามลกรรมาบทของภาวะแทรกสอดจากเงาสะท้อนพื้นสำหรับ  
ระบบแถบกว้างยิ่ง

STUDY ON GROUND REFLECTION INTERFERENCE EFFECT FOR  
ULTRA WIDEBAND SYSTEM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2551

KMITL.-2008-DN-M-209-006

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

**การศึกษาผลกระทบของการแทรกสอดจากการสะท้อนพื้นสำหรับระบบแถบ  
กว้างยิ่ง**

**STUDY ON GROUND REFLECTION INTERFERENCE EFFECT FOR  
ULTRA WIDEBAND SYSTEM**



**ปฐมาวดี ไชยิตสกุล**

**PATHAMAVADEE KOSITSAKUL**

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....**82873**  
วัน,เดือน,ปี.....**25 ก.ค. 2551**

b.....
i.....

**วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต**

**สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

**บัณฑิตวิทยาลัย**

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

**พ.ศ.2551**

**KMITL-2008-EN-M-230-306**

**STUDY ON GROUND REFLECTION INTERFERENCE EFFECT FOR  
ULTRA WIDEBAND SYSTEM**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT**

**OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF**

**MASTER OF ENGINEERING IN INFORMATION ENGINEERING**

**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2008**

**KMITL-2008-EN-M-230-306**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ดัชนีทั้งหมดนี้ให้ตั้งโปรแกรมเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่าการ **COPYRIGHT 2008** มิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**บัณฑิตวิทยาลัย**  
**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**  
**ใบรับรองวิทยานิพนธ์**

---

**หัวข้อวิทยานิพนธ์** การศึกษาผลกระทบของการแทรกสอดจากการสะท้อนพื้นสำหรับระบบ  
แถบกว้างยิ่ง  
Study on Ground Reflection Interference Effect for Ultra Wideband System

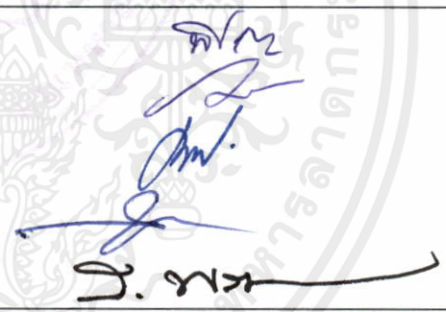
**นักศึกษา** นางสาวปฐมาวดี โฆษิตสกุล

**รหัสประจำตัว** 49061002

**ปริญญา** วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

**สาขาวิชา** วิศวกรรมสารสนเทศ

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์** อาจารย์สถาพร พรหมวงค์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.พิชญ	สุพรรณกุล	
ผศ.มนต์ชัย	แจ่มช้อย	
รศ.ดร.ประยูทธ	อัครเอกผาติน	
ผศ.ดร.สุทธิชัย	นพนาถิพงษ์	
อาจารย์สถาพร	พรหมวงค์	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 22 พฤษภาคม 2551 เวลา 13.00-15.00 น.

สถานที่สอบ ณ ห้องประชุม 3 ชั้น 5 อาคาร A

**บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว**

**(รศ.ดร.รวีวรรณ ชินะตระกูล)**

**คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และห้องข้อมูลของเอกสารทุกครั้งที่มีการแก้ไข

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาผลกระทบของการแทรกสอดจากการสะท้อนพื้น สำหรับระบบแถบกว้างยิ่ง
นักศึกษา	นางสาวปฐมาวดี โฉมิตสกุล
รหัสประจำตัว	49061002
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
พ.ศ.	2551
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	อาจารย์ สถาพร พรหมวงศ์

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาถึงผลกระทบของการแทรกสอดของสัญญาณในระบบวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง เนื่องจากการแทรกสอดของสัญญาณเป็นปัญหาที่สำคัญชนิดหนึ่งที่ทำให้เกิดการลดทอนของประสิทธิภาพของสัญญาณที่รับได้ ดังนั้นการศึกษาเกี่ยวกับการแทรกสอดจึงเป็นหัวข้อที่น่าสนใจอย่างยิ่งในระบบสื่อสารแบบไร้สาย โดยในการวิจัยจะเน้นไปที่การพิจารณาการแทรกสอดของแบบจำลองสะท้อนพื้นซึ่งแบบจำลองลักษณะนี้เป็นแบบจำลองที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งในการสื่อสารแบบไร้สายภายในอาคาร ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลที่เหมาะสมที่จะศึกษาเนื่องจากเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งนั้นเป็นเทคโนโลยีที่ประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ภายในอาคารเช่นเดียวกัน โดยในการวิจัยนี้ได้ใช้การวัดสัญญาณจริงตามแบบจำลองที่กำหนดขึ้นเองภายในอาคาร ที่ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งได้ใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์เป็นเครื่องส่งและรับสัญญาณ ส่วนสายอากาศที่ใช้ส่งและรับสัญญาณนั้นเป็นแบบกรวยคู่และได้ปรับความสูงของสายอากาศทั้งด้านส่งและด้านรับให้แตกต่างกันอยู่ 9 ลักษณะด้วยกัน สำหรับพื้นผิวที่ใช้ในการสะท้อนมี 3 ชนิด คือ พื้นผิวเรียบ, พื้นผิวขรุขระ และ พื้นผิวขรุขระมาก โดยผลที่ได้จากการวัดจริงจะนำมาทำการพิจารณาคุณลักษณะของสัญญาณและพิจารณาการแทรกสอดของแบบจำลองสะท้อนพื้นในระบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งจะวิเคราะห์การแทรกสอดระหว่างสัญญาณตรงและสัญญาณสะท้อน โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์มาประเมินค่าประสิทธิภาพของผลที่ได้จากการวัดร่วมกับรูปคลื่นที่ได้ออกแบบขึ้น แล้วแสดงการเปรียบเทียบผ่านพารามิเตอร์ต่างๆ คือ อัตราความผิดพลาดของบิต, การสูญเสียเชิงวิถี และ ความผิดเพี้ยนของรูปคลื่น โดยผลวิเคราะห์ที่ได้ออกมาจะชี้ให้เห็นว่าในแต่ละกรณีเกิดการแทรกสอดอย่างไร โดยข้อมูลที่ได้นั้นสามารถนำไปเป็นข้อมูลในการออกแบบการสื่อสารภายในอาคารและสามารถนำแบบจำลองที่ได้ออกแบบไว้ข้างต้นไปวิเคราะห์หาการแทรกสอดของสัญญาณที่มาในหลายทิศทางได้อีกด้วย

<b>Thesis Title</b>	Study on Ground Reflection Interference Effect for Ultra Wideband System
<b>Student</b>	Miss Pathamavadee Kositsakul
<b>Student ID.</b>	49061002
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Program</b>	Information Engineering
<b>Year</b>	2008
<b>Thesis Advisor</b>	Mr. Sathaporn Promwong

### ABSTRACT

This thesis studies about interference effect of signal in Ultra wideband (UWB) impulse radio system. Interference of signal is an important problem, which makes the performance of received signal decrease. Therefore, the investigation about interference is significantly interesting topic on wireless system. This research will emphasize on considering about interference of ground reflection model which frequently occurs on wireless communication in indoor environment. For this reason, it is suitable for studying because UWB technology is also the technology applied in several indoor equipments. In this thesis, it is processed on real measurement as design model in indoor environment at Department of Information Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. Vector Network Analyzer (VNA) machine is used to be the transmitter and the receiver. About antenna, the biconical antenna is employed to be the transmitted and received antenna and both of side of the antennas will be also changed in height with 9 characteristics. For reflected surface, three types of surface are implemented that are smooth surface, rough surface, and very rough surface. The result from real measurement will be considered about characteristic of signal and interference from ground reflection in UWB system. About interference analysis, the received signal is divided into direct signal and reflected signal by using MATLAB program. The performance evaluation of measuring result will cause from combining the designed waveform with transfer function. To compare performance from interference, several parameters will be used that are bit-error-rate, path loss, and waveform distortion. From these parameters, they can indicate characteristic of interference in each case. Beside the analysis result can use to be information for indoor wireless communication design and the designed model used in this thesis can apply to analyze about interference in multipath as well.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาตลอดทั้งได้รับการดูแลและช่วยตรวจทานวิทยานิพนธ์จาก อาจารย์ สถาพร พรหมวงศ์ หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์มนตรีชัย เข้มช้อย และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชญสุพรรณกุล ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ ที่ช่วยให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุก ๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกคนในภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ให้คำแนะนำต่างๆ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนทางด้านทุนทรัพย์ในการเรียนจนทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือในการให้ข้อมูลเกี่ยวกับการจัดทำและรายละเอียดต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนในการจัดทำและให้รายละเอียดต่างๆ ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ และประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบพระคุณผู้มีพระคุณทุกท่าน

ปฐมาวดี โฉมิตสกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
รายการคำย่อและสัญลักษณ์.....	XVI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	3
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	4
1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน.....	5
1.6 ขอบเขตการวิจัย.....	5
1.7 ขั้นตอนการศึกษา.....	6
บทที่ 2 ระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง (Ultra Wideband).....	7
2.1 กล่าวนำ.....	7
2.2 ประวัติและความเป็นมาของระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	7
2.3 ลักษณะพื้นฐานของระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	8
2.3.1 พื้นฐานของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง.....	10
2.3.2 จุดเด่นของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง.....	10
2.4 กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	12
2.4.1 กฎข้อบังคับของระบบแบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา.....	12
2.4.2 กฎข้อบังคับของระบบแบบแถบกว้างยิ่งในยุโรป.....	13
2.5 สรุป.....	14
บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์.....	15
3.1 กล่าวนำ.....	15
3.2 การแพร่กระจายคลื่นของระบบแถบกว้างยิ่งในอวกาศว่าง.....	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 การแพร่กระจายคลื่นของระบบแบบแถบกว้างยิ่งในการสะท้อนพื้น.....	16
3.4 แบบจำลองสะท้อนพื้นของคลื่น (Ground Reflection Model).....	18
3.5 พื้นฐานเกี่ยวกับการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ.....	20
3.5.1 แบบรูปแบบไอโซทรอปิก, แบบชี้ทิศทาง และ แบบรอบทิศทาง.....	21
3.5.2 แบบรูปหลัก.....	21
3.5.3 โลบของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น.....	22
3.5.4 ลักษณะของสายอากาศที่ใช้ในระบบแถบกว้างยิ่ง.....	22
3.6 ทฤษฎีของการส่งสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่ง.....	23
3.7 ทฤษฎีของวงจรกรองแมตช์ (Matched filter).....	25
3.8 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	26
3.8.1 การกระจายทางเวลา.....	27
3.8.2 อัตราความผิดพลาดของบิต.....	28
3.8.3 การสูญเสียเชิงวิถิ.....	28
3.9 บล็อกสำหรับการวิเคราะห์ (Block Analysis).....	29
3.10 สรุป.....	29
<b>บทที่ 4 ขั้นตอนการจำลองและการวัดสัญญาณ.....</b>	<b>30</b>
4.1 กล่าวนำ.....	30
4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในวัดช่องสัญญาณ.....	30
4.2.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์.....	30
4.2.2 สายอากาศที่ใช้ในการทดลอง.....	31
4.2.3 พื้นผิวที่ใช้ในการทดลอง.....	32
4.2.4 อุปกรณ์ที่ใช้ร่วมในการทดลอง.....	34
4.3 แบบจำลองที่ใช้ในการทดลอง.....	37
4.3.1 การปรับความสูงของสายอากาศ.....	38
4.3.2 การจัดวางสายอากาศบนพื้นแต่ละชนิด.....	41
4.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองระบบ.....	42
4.5 สัญญาณพัลส์ที่ใช้ในการส่ง.....	42
4.6 การวิเคราะห์สัญญาณ.....	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามนำข้อมูลไปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.7 สรุป.....	45
บทที่ 5 ผลการวัดสัญญาณและการประเมิน.....	46
5.1 กล่าวนำ.....	46
5.2 ผลการวัดสัญญาณและวิเคราะห์ผล.....	46
5.2.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผล.....	46
5.2.2 ผลการวัดผ่านพารามิเตอร์ต่างๆ.....	46
5.2.2.1 อัตราความผิดพลาดของบิต.....	46
5.2.2.2 การสูญเสียเชิงวิถิ.....	62
5.2.2.3 ความผิดเพี้ยนของรูปคลื่น.....	77
5.3 สรุป.....	93
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	93
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	93
6.1.1 อัตราความผิดพลาดของบิต.....	93
6.1.2 การสูญเสียเชิงวิถิ.....	94
6.1.3 ความผิดเพี้ยนของรูปคลื่น.....	94
6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา.....	95
เอกสารอ้างอิง.....	96
ภาคผนวก.....	98
ภาคผนวก ก. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	99
ประวัติผู้เขียน.....	109

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร.....	13
2.2 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร.....	14
3.1 ค่าสภาพการยอมสัมพัทธ์และค่าสภาพนำของวัสดุไดอิเล็กตริก .....	20
4.1 พารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการจำลองระบบ.....	42



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ระดับความหนาแน่นแถบกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่ง.....	2
2.1 สเปกตรัมของระบบแบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคารซึ่งกำหนดโดย FCC.....	9
2.2 สเปกตรัมของระบบแบบแถบกว้างยิ่งภายนอกอาคารซึ่งกำหนดโดย FCC .....	9
2.3 ลักษณะของแถบกำลังงานสัญญาณใน โดเมนความถี่และสัญญาณพัลส์ใน โดเมนเวลา.....	10
3.1 การแพร่กระจายเป็นวงกลมของสัญญาณ.....	15
3.2 (ก) สัญญาณในทิศทางตรงของระบบแบบแถบแคบและของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง (ข) สัญญาณในทิศทางสะท้อนของระบบแบบแถบแคบและของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง (ค) สัญญาณในทิศทางตรงและทิศทางสะท้อนในการแพร่กระจายแบบสองทิศทาง .....	17
3.3 แบบจำลองสะท้อนพื้น.....	18
3.4 แบบรูปของการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบรอบทิศทาง (ออมนิไดเรกชันแนล).....	21
3.5 โลกของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น.....	22
3.6 บล็อกไดอะแกรมของวงจรกรองแมตซ์ของการส่งสัญญาณ.....	25
3.7 บล็อกสำหรับการวิเคราะห์ (Block Analysis).....	29
4.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์.....	31
4.2 โครงสร้างและขนาดของสายอากาศกรวยคู่ (Biconical).....	31
4.3 คุณสมบัติของสายอากาศกรวยคู่.....	32
4.4 ขนาดและเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านของสายอากาศกรวยคู่.....	32
4.5 พื้นผิวเรียบ.....	33
4.6 พื้นผิวขรุขระ.....	33
4.7 พื้นขรุขระมาก.....	34
4.8 Computer (PC or Notebook).....	34
4.9 อุปกรณ์สำหรับการปรับแต่งสัญญาณ.....	35
4.10 สายโคแอกเซียลที่เชื่อมต่อเข้ากับคอนเนกเตอร์ชนิดที่มีการสูญเสียต่ำ.....	35
4.11 แผ่นลดการสะท้อน (Absorber).....	36
4.12 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองวัด.....	36
4.13 แบบจำลองที่ใช้ในการทดลองวัด.....	37
4.14 ลักษณะและขนาดของห้องที่ใช้ในการทดลองวัด.....	37
4.15 การปรับความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับให้มีความสูงเท่ากันที่ 1.6 เมตร.....	38
4.16 การปรับความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับให้มีความสูงเท่ากันที่ 1.9 เมตร.....	38

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.17 การปรับความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับให้มีความสูงเท่ากันที่ 2.2 เมตร.....	38
4.18 การปรับความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับให้มีค่า 1.6 เมตร และ 1.9 เมตร ตามลำดับ.....	39
4.19 การปรับความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับให้มีความสูงเท่ากันที่ 1.6 เมตร และ 2.2 เมตร ตามลำดับ.....	39
4.20 การปรับความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับให้มีความสูงเท่ากันที่ 1.9 เมตร และ 1.6 เมตร ตามลำดับ.....	39
4.21 การปรับความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับให้มีความสูงเท่ากันที่ 1.9 เมตร และ 2.2 เมตร ตามลำดับ.....	40
4.22 การปรับความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับให้มีความสูงเท่ากันที่ 2.2 เมตร และ 1.6 เมตร ตามลำดับ.....	40
4.23 การปรับความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับให้มีความสูงเท่ากันที่ 2.2 เมตร และ 1.9 เมตร ตามลำดับ.....	40
4.24 การเปลี่ยนระยะทางระหว่างสายอากาศด้านส่งและด้านรับบนผิวเรียบ โดยเพิ่มขึ้นทีละ 1 เมตร จนถึง 10 เมตร.....	41
4.25 การเปลี่ยนระยะทางระหว่างสายอากาศด้านส่งและด้านรับบนผิวขรุขระและขรุขระมาก โดยเพิ่มขึ้นทีละ 1 เมตร จนถึง 10 เมตร.....	41
4.26 รูปคลื่นสัญญาณส่งในโดเมนเวลาของระบบแถบกว้างยิ่ง.....	43
4.27 สเปกตรัมสัญญาณส่งในโดเมนความถี่ของระบบแถบกว้างยิ่ง.....	43
4.28 บล็อกไดอะแกรมในการวิเคราะห์สัญญาณ.....	44
4.29 กระบวนการสำหรับการวิเคราะห์หาสัญญาณรับ.....	44
4.30 ตัวอย่างของระดับกำลังงานของสัญญาณในแต่ละเส้นทางที่ค่าประวิงเวลาแตกต่างกัน.....	45
5.1 อัตราความผิดพลาดของบิตบนพื้นผิวเรียบเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับมี ความสูงเท่ากันที่ 1.6 เมตร.....	47
5.2 อัตราความผิดพลาดของบิตบนพื้นผิวขรุขระเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับมี ความสูงเท่ากันที่ 1.6 เมตร.....	47
5.3 อัตราความผิดพลาดของบิตบนพื้นผิวขรุขระมากเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและ ด้านรับมีความสูงเท่ากันที่ 1.6 เมตร.....	48

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.4 อัตราความผิดพลาดของบิตบนพื้นผิวเรียบเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีความสูงเท่ากันที่ 1.9 เมตร.....	48
5.5 อัตราความผิดพลาดของบิตบนพื้นผิวขรุขระเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีความสูงเท่ากันที่ 1.9 เมตร.....	49
5.6 อัตราความผิดพลาดของบิตบนพื้นผิวขรุขระมากเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีความสูงเท่ากันที่ 1.9 เมตร.....	49
5.7 อัตราความผิดพลาดของบิตบนพื้นผิวเรียบเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีความสูงเท่ากันที่ 2.2 เมตร.....	50
5.8 อัตราความผิดพลาดของบิตบนพื้นผิวขรุขระเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่าสูงเท่ากันที่ 2.2 เมตร.....	50
5.9 อัตราความผิดพลาดของบิตบนพื้นผิวขรุขระมากเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่าเท่ากันที่ 2.2 เมตร.....	51
5.10 อัตราความผิดพลาดของบิตบนพื้นผิวเรียบเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 1.6 เมตรและ 1.9 เมตร ตามลำดับ.....	52
5.11 อัตราความผิดพลาดของบิตบนพื้นผิวขรุขระเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 1.6 เมตรและ 1.9 เมตร ตามลำดับ.....	53
5.12 อัตราความผิดพลาดของบิตบนพื้นผิวขรุขระมากเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 1.6 เมตรและ 1.9 เมตร ตามลำดับ.....	53
5.13 อัตราความผิดพลาดของบิตบนพื้นผิวเรียบเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 1.6 เมตรและ 2.2 เมตร ตามลำดับ.....	54
5.14 อัตราความผิดพลาดของบิตบนพื้นผิวขรุขระเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 1.6 เมตรและ 2.2 เมตร ตามลำดับ.....	54
5.15 อัตราความผิดพลาดของบิตบนพื้นผิวขรุขระมากเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 1.6 เมตรและ 2.2 เมตร ตามลำดับ.....	55
5.16 อัตราความผิดพลาดของบิตบนพื้นผิวเรียบเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 1.9 เมตรและ 1.6 เมตร ตามลำดับ.....	55
5.17 อัตราความผิดพลาดของบิตบนพื้นผิวขรุขระเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 1.9 เมตรและ 1.6 เมตร ตามลำดับ.....	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับจริง ไม่ควรแก้ไขหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต การทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจะถือว่าผิดกฎหมาย









## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.74 เปรียบเทียบความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางบนพื้นผิวขรุขระเมื่อสายอากาศ ด้านส่งและด้านรับมีค่า 1.9 เมตร และ 2.2 เมตร ตามลำดับ.....	88
5.75 เปรียบเทียบความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางบนพื้นผิวขรุขระมากเมื่อสายอากาศ ด้านส่งและด้านรับมีค่า 1.9 เมตร และ 2.2 เมตร ตามลำดับ.....	88
5.76 เปรียบเทียบความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางบนพื้นผิวเรียบเมื่อสายอากาศ ด้านส่งและด้านรับมีค่า 2.2 เมตร และ 1.6 เมตร ตามลำดับ.....	89
5.77 เปรียบเทียบความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางบนพื้นผิวขรุขระเมื่อสายอากาศ ด้านส่งและด้านรับมีค่า 2.2 เมตร และ 1.6 เมตร ตามลำดับ.....	89
5.78 เปรียบเทียบความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางบนพื้นผิวขรุขระมากเมื่อสายอากาศ ด้านส่งและด้านรับมีค่า 2.2 เมตร และ 1.6 เมตร ตามลำดับ.....	90
5.79 เปรียบเทียบความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางบนพื้นผิวเรียบเมื่อสายอากาศ ด้านส่งและด้านรับมีค่า 2.2 เมตร และ 1.9 เมตร ตามลำดับ.....	90
5.80 เปรียบเทียบความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางบนพื้นผิวขรุขระเมื่อสายอากาศ ด้านส่งและด้านรับมีค่า 2.2 เมตร และ 1.9 เมตร ตามลำดับ.....	91
5.81 เปรียบเทียบความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางบนพื้นผิวขรุขระมากเมื่อสายอากาศ ด้านส่งและด้านรับมีค่า 2.2 เมตร และ 1.9 เมตร ตามลำดับ.....	91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รายการคำย่อและสัญลักษณ์

หน่วยงานวิจัยขั้นสูงของสหรัฐ (Defense Advanced Research Projects Agency)	<i>DARPA</i>
สถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป (European Telecommunications Standards Institute)	<i>ETSI</i>
องค์การบริหารการบินแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Aviation Administration)	<i>FAA</i>
คณะกรรมการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission)	<i>FCC</i>
สหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union)	<i>ITU</i>
กลุ่มทำงานเกี่ยวกับระบบแถบกว้างยิ่ง (Ultra Wide Band Working Group)	<i>UWBWG</i>
สถาบันวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Institute of Electrical and Electronics Engineers)	<i>IEEE</i>
เครือข่ายไร้สายส่วนท้องถิ่น (Wireless Local Area Network)	<i>WLAN</i>
เครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล (Wireless Personal Area Network)	<i>WPAN</i>
ระบบดาวบอกพิกัด (Global Positioning Systems)	<i>GPS</i>
ระบบแถบกว้างยิ่ง (Ultra-wideband)	<i>UWB</i>
เทคโนโลยีการส่งสัญญาณแบบซีดีเอ็มเอแถบกว้าง (Wideband Code Division Multiple Access)	<i>WCDMA</i>
แนวทิวทางตรงหรือแนวระดับสายตา (Line of Sight)	<i>LOS</i>
เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ (Vector Network Analyzer)	<i>VNA</i>
ช่องทางเพื่อการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ทั่วไป (General Purpose Interface Bus)	<i>GPIB</i>
คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic field)	<i>EM</i>
สายอากาศด้านส่ง (Transmitter antenna)	<i>Tx</i>
สายอากาศด้านรับ (Receiver antenna)	<i>Rx</i>
ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน (Power Delay Profile)	<i>PDP</i>
อัตราส่วนสัญญาณที่รับได้ต่อสัญญาณรบกวน (Signal to noise ratio)	<i>SNR</i>
การสูญเสียเชิงวิถี (Path loss)	<i>PL</i>
เดซิเบล (Decibel)	<i>dB</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>

## รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

มิลลิวัตต์ (Milliwatt)	$mW$
ขนาดพื้นที่ผิวของสายอากาศที่สามารถดูดซึมหรือรับสัญญาณได้ (Effective area)	$A_{er}$
สัดส่วนแบนด์วิดท์ (Fractional bandwidth)	$B_f$
ความเร็วแสง (Velocity of light)	$c$
ระยะทาง (Distance), m	$d$
เวลา (Time), s	$t$
ความยาวคลื่น (Wavelength), m	$\lambda$
ความถี่ (Frequency), Hz	$f$
ค่าความถี่บนของระบบการสื่อสาร	$f_H$
ค่าความถี่ล่างของระบบการสื่อสาร	$f_L$
ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric constant)	$\epsilon_r$
ค่าสภาพนำไฟฟ้า (Conductivity)	$\sigma$
ค่าการแผ่ประวิง (RMS delay spread), s	$\sigma_r$
ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (Reflection coefficient)	$\Gamma$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

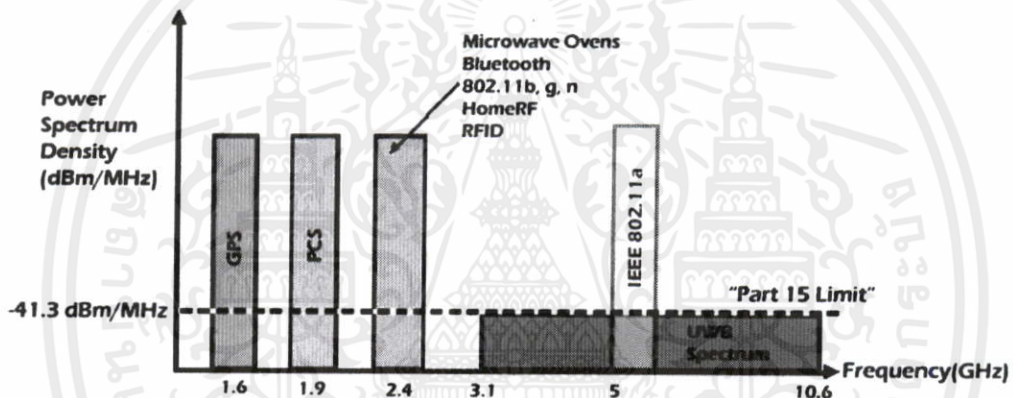
### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการสื่อสารไร้สาย เช่น โทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile telephone) หรือระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย (Wireless Local Area Network: WLAN) ได้เข้ามามีบทบาทในการดำเนินชีวิตประจำวันเนื่องจากความสะดวกสบายในการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์สื่อสาร หรือระหว่างเครือข่ายด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นการเชื่อมต่อภายในอาคารสำนักงาน การเชื่อมต่อเครือข่ายเพื่อความบันเทิงภายในที่พักอาศัย หรือการเชื่อมต่อเครือข่ายระหว่างอาคารหรือเมือง ซึ่งเทคโนโลยีส่วนมากในปัจจุบันจะเป็นเทคโนโลยีการส่งข้อมูลในแถบความถี่แคบ (Narrow band) ซึ่งมีขีดจำกัดที่อัตราส่งทำให้การส่งข้อมูลไม่รวดเร็วและไม่สามารถส่งข้อมูลได้ในจำนวนมาก ดังนั้นจึงมีเทคโนโลยีรูปแบบใหม่เกิดขึ้นเพื่อมารองรับคือเทคโนโลยีการส่งข้อมูลในแถบความถี่กว้าง (Wideband) เช่น เทคโนโลยีการส่งสัญญาณแบบซีดีเอ็มเอแถบกว้าง (Wideband Code Division Multiple Access: WCDMA) และเทคโนโลยีการส่งสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง (Ultra wideband: UWB) เป็นต้น โดยเฉพาะเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งนั้นเป็นเทคโนโลยีที่น่าสนใจอย่างมาก เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีในชั้นกายภาพและคาดว่าจะมีการนำมาปรับปรุงใช้กับเทคโนโลยีในชั้น โปรโตคอลอื่นๆ ได้เช่นเดียวกัน [1]

เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายแบบแถบกว้างยิ่งมีความแตกต่างจากการสื่อสารไร้สายแบบบลูทูธ (Bluetooth) เนื่องจากระบบแบบแถบกว้างยิ่งนี้มีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงกว่าและสามารถส่งได้ไกลกว่าเทคโนโลยีบลูทูธ จึงทำให้สามารถรองรับความต้องการในการส่งข้อมูลจำนวนมากได้ เนื่องจากแบนด์วิดท์ของระบบแบบแถบกว้างยิ่งนี้มีช่วงที่กว้างมาก ซึ่งสอดคล้องกับการพัฒนาไฟล์มัลติมีเดียต่างๆ ในปัจจุบันที่มีแนวโน้มว่าจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อให้ได้คุณภาพที่ดีกว่าในอดีต รวมไปถึงการพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบพกพาชนิดต่างๆ ซึ่งจะมีการติดตั้งระบบการสื่อสารแบบไร้สายเข้าไปด้วย ซึ่งอุปกรณ์จำพวกนี้จำเป็นต้องพึ่งพาแหล่งพลังงานจากแบตเตอรี่ ดังนั้นระบบไร้สายที่จะติดตั้งเข้าไปจึงจำเป็นต้องใช้พลังงานที่ต่ำเพื่อประหยัดพลังงาน ซึ่งจะสามารถใช้งานแบตเตอรี่ได้นานยิ่งขึ้น จึงทำให้เทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งนี้เหมาะสมอย่างยิ่งที่จะใช้เป็นระบบการสื่อสารไร้สายในอุปกรณ์พกพาดังกล่าว เพราะระบบแบบแถบกว้างยิ่งนั้นใช้พลังงานต่ำในการส่งข้อมูล ดังนั้น จากคุณสมบัติของระบบแถบกว้างยิ่งที่ได้กล่าวมานั้นจะสามารถตอบสนองความต้องการในการใช้งานในอนาคตได้เป็นอย่างดี

เทคโนโลยีการส่งสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งเป็นการสื่อสารไร้สายที่แตกต่างจากการสื่อสารแบบคลื่นความถี่ทั่วไป เพราะจุดเด่นของระบบแบบแถบกว้างยิ่งก็คือ เป็นระบบสื่อสารที่

ปราศจากคลื่นพาห้จึงไม่เหมือนกับระบบอื่น และสัญญาณที่ใช้ส่งของระบบแบบแถบกว้างยิ่งจะเป็นสัญญาณพัลส์ โดยจะเป็นพัลส์แคบๆ ขนาดประมาณ 0.2 นาโนวินาที จึงทำให้มีความหนาแน่นแถบความถี่ที่กว้างมาก จึงทำให้สามารถแพร่กระจายคลื่นครอบคลุมช่วงความถี่ได้กว้างในระดับกิกะเฮิร์ต (GHz) ซึ่งก็คือตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz และเนื่องด้วยระบบนี้มีแบนด์วิดท์ที่กว้างมากจึงสามารถรองรับการส่งข้อมูลได้ในอัตราที่สูงสุดถึง 110 Mbps ในระยะทางประมาณ 10 เมตร ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่า สัญญาณพัลส์ที่ใช้ส่งนั้นมีขนาดที่แคบมากจึงทำให้ควิตไซเคิล (Duty cycle) มีค่าต่ำ จึงเป็นสาเหตุทำให้ระบบนี้สามารถใช้กำลังงานในการส่งได้ต่ำ ดังรูปที่ 1.1 แสดงให้เห็นถึงระดับความหนาแน่นแถบกำลังในระบบแถบกว้างยิ่ง โดยเปรียบเทียบกับระบบอื่นๆ และจากรูปที่ 1.1 จะเห็นว่าแบนด์วิดท์ของระบบแบบแถบกว้างยิ่งนั้นมีช่วงที่กว้างมากจึงทำให้อัตราการส่งข้อมูลนั้นรวดเร็วยิ่งขึ้น



รูปที่ 1.1 ระดับความหนาแน่นแถบกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่ง [2]

ในการนำระบบแบบแถบกว้างยิ่งมาใช้ในสภาพแวดล้อมภายในอาคารนั้นมักจะเกิดการแทรกสอดของสัญญาณขึ้นบ่อยครั้ง ซึ่งเกิดมาจากหลายสาเหตุ อาทิเช่น การแทรกสอดที่เกิดจากเทคโนโลยีอื่นที่ใช้ช่วงความถี่ที่ใกล้เคียงกันหรือซ้อนทับกัน และ การแทรกสอดที่เกิดจากการแพร่กระจายของคลื่นที่มาจากหลายทิศทาง เช่น การสะท้อน, การเลี้ยวเบน และ การหักเห เป็นต้น นอกจากนั้นพื้นผิวของพื้นที่มีลักษณะแตกต่างกันก็จะส่งผลให้เกิดการแทรกสอดที่แตกต่างกันอีกด้วย ด้วยเหตุนี้จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งที่จะทำการตรวจสอบว่าการที่คลื่นนั้นเดินทางมาจากหลายทิศทางจะส่งผลอย่างไรกับการแทรกสอดของสัญญาณเมื่อคลื่นนั้นมาถึงด้านรับสัญญาณ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้ศึกษาถึงผลกระทบของการแทรกสอดของสัญญาณในระบบวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง โดยได้พิจารณาการแทรกสอดของสัญญาณที่เกิดขึ้นจากสัญญาณที่แพร่กระจายคลื่นแบบสองทิศทางหรือแบบสะท้อนพื้น เพื่อนำไปเป็นข้อมูลที่ใช้ในการอ้างอิงเกี่ยวกับการศึกษาการแทรกสอดของสัญญาณแบบสะท้อนพื้นในกรณีอื่นๆต่อไป

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งเน้นไปที่การพิจารณาแบบจำลองสะท้อนพื้น ในระบบแถบกว้างซึ่งซึ่งแบบจำลองสะท้อนพื้นนี้เป็นแบบจำลองที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งในการแพร่กระจายคลื่นภายในอาคาร จากการศึกษาส่วนใหญ่พบว่าสัญญาณที่สะท้อนมาจากพื้นนั้นมีผลทำให้เกิดการแทรกสอดของคลื่นที่รับได้ ดังนั้นในการศึกษาเรื่องนี้จะเน้นไปที่การพิจารณาการแทรกสอดระหว่างสัญญาณที่มาจากทิศทางตรงและสัญญาณที่มาจากทิศทางสะท้อน โดยในการศึกษาได้ใช้พัลส์ที่ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อใช้ส่งในระบบแถบกว้างซึ่งไปบนพื้นผิวที่มีลักษณะที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ พื้นผิวเรียบ, พื้นผิวขรุขระ และพื้นผิวขรุขระมาก โดยในแต่ละพื้นผิวได้มีการศึกษาถึงผลกระทบของความสูงของสายอากาศที่มีความสูงแตกต่างกันและจากระยะที่เปลี่ยนแปลงไปว่ามีผลต่อการแทรกสอดของสัญญาณที่รับได้ทางด้านรับสัญญาณว่ามีค่าน้อยเพียงใด โดยได้ทำการทดลองวัดจริงในสถานะแวดล้อมภายในอาคาร ซึ่งได้กำหนดแบบจำลองขึ้นเองเพื่อใช้ในการวัด โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ที่โครงข่ายแบบเวกเตอร์เป็นตัวส่งสัญญาณและรับสัญญาณพร้อมทั้งบันทึกผลที่ได้จากการวัด ส่วนสายอากาศทั้งด้านรับและด้านส่งใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ ในการทดลองวัดสัญญาณ ได้กระทำที่ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากนั้นได้นำผลที่ได้จากการวัดจริงมาทำการประเมินค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่แสดงให้เห็นถึงการแทรกสอดของสัญญาณจากทั้งสองทิศทาง โดยได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของสัญญาณที่รับได้ผ่านทาง 3 พารามิเตอร์ คือ อัตราความผิดพลาดของบิต, การสูญเสียเชิงวิถี, และ ความผิดเพี้ยนของรูปคลื่น เพื่อให้เห็นถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการแทรกสอดของสัญญาณเพื่อจะได้นำข้อมูลที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับการแทรกสอดในหลายๆ ทิศทางต่อไป

## 1.3 สมมติฐานของการศึกษา

เนื่องจากการสื่อสารในระบบแบบไร้สายนั้นเป็นการสื่อสารที่ไม่มีทิศทางที่แน่นอนและสามารถส่งไปได้ในระยะทางไกลๆ ดังนั้นเมื่อส่งสัญญาณออกไปจากด้านส่งสัญญาณแล้วผ่านสิ่งกีดขวางต่างๆ เช่น คน, สิ่งก่อสร้าง และสิ่งมีชีวิตต่างๆ จะทำให้สัญญาณที่เดินทางในทิศทางตรงนั้นถูกเบี่ยงเบนออกไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการสื่อสารภายในอาคารซึ่งมักจะเกิดการเบี่ยงเบนของทิศทางได้สูง เนื่องสายอากาศที่ใช้นั้นต้องมีความสูงน้อยและมีสิ่งก่อสร้างต่างๆ มากมายมาบดบังทิศทางของสัญญาณที่ส่งออกไป จึงทำให้สัญญาณนั้นอาจจะเดินทางไปสะท้อนกับพื้น, ผนัง หรืออุปกรณ์ต่างๆ ที่ติดตั้งไว้ในอาคารก่อนที่จะมายังสายอากาศด้านรับ โดยเฉพาะการสะท้อนพื้นของสัญญาณนั้นเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งในการสื่อสารภายในอาคาร เพราะเทคโนโลยีไร้สาย โดยเฉพาะเทคโนโลยีแบบแถบกว้างซึ่งนั้นเป็นเทคโนโลยีที่นิยมใช้ภายในอาคาร เนื่องจากระบบแบบแถบกว้างซึ่งจะถูกประยุกต์ใช้กับ แล็ปท็อป (Lab-top), พีดีเอ (PDA),

โทรศัพท์มือถือ, กล้องถ่ายภาพดิจิทัล หรือแม้แต่ปริ้นเตอร์ เป็นต้น ดังนั้นในการศึกษาระบบแบบแถบกว้างยิ่งจึงควรที่จะศึกษาถึงสัญญาณที่สะท้อนพื้นว่ามีผลต่อการเกิดการแทรกสอดของสัญญาณที่รับได้อย่างไร เนื่องจากการศึกษาที่มีมาพบว่าเมื่อสัญญาณที่มาจากสายอากาศด้านรับในทิศทางที่ต่างกันจะทำให้เกิดการแทรกสอดของสัญญาณขึ้น ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะศึกษาถึงการแทรกสอดของสัญญาณที่มาจากสองทิศทาง คือ ระหว่างสัญญาณที่มาจากทิศทางตรง และสัญญาณที่มาจากทิศทางสะท้อนพื้น ซึ่งจะแสดงให้เห็นการแทรกสอดของสัญญาณโดยเปรียบเทียบจากประสิทธิภาพของสัญญาณที่รับได้ในแต่ละทิศทางว่ามีค่าแตกต่างกันหรือลดลงอย่างไรเพื่อจะสรุปว่าการแทรกสอดนั้นเกิดขึ้นมากน้อยเพียงใด โดยขั้นตอนการทดลองนั้นจะมีวัดสัญญาณและกำหนดตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมภายในอาคาร รวมไปถึงการพิจารณาถึงความสูงของสายอากาศ และมีการเปลี่ยนระยะทางระหว่างสายอากาศด้านส่งและด้านรับอีกด้วย นอกจากนี้จะมีการพิจารณาถึงลักษณะของพื้นอาคารที่แตกต่างกันอีกด้วย ว่าแต่ละกรณีมีผลต่อการแทรกสอดแตกต่างกันอย่างไร

#### 1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาถึงผลกระทบจากการแทรกสอดระหว่างสัญญาณที่มาในทิศทางตรงและสัญญาณที่มาจากทิศทางสะท้อนพื้น ซึ่งพื้นผิวที่สะท้อนมีลักษณะแตกต่างกัน 3 ชนิด คือ พื้นผิวเรียบ, พื้นผิวขรุขระ และพื้นผิวขรุขระมาก ว่ามีผลเช่นไรต่อสัญญาณที่รับได้ในระบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งจะพิจารณาบนพื้นฐานของการวัดสัญญาณจริงซึ่งอธิบายได้ดังต่อไปนี้

สำหรับการทดลองวัดนั้นได้ใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์และใช้สายอากาศแบบกรวยคู่โดยที่ทำการวัดตลอดช่วงความถี่ตั้งแต่ 3 GHz ถึง 11 GHz ซึ่งครอบคลุมช่วงความถี่ที่ได้ถูกกำหนดไว้โดย คณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communication Commission: FCC) [3] ในขั้นตอนของการวัดนั้นได้ทำการวัดสัญญาณภายในอาคาร โดยทำการกำหนดเงื่อนไขและพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อใช้ในการวัด จากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมเพื่อตรวจสอบถึงผลการแทรกสอดของสัญญาณที่รับได้ในแต่ละกรณี

ส่วนของการจำลองสัญญาณส่งจะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ในการจำลองช่องสัญญาณโดยใช้สมการเพิ่มเติมของฟรีส และการจำลองช่องสัญญาณจะใช้แบบจำลองสะท้อนพื้น (Ground reflection model) ซึ่งจะพิจารณาสัญญาณจาก 2 ทิศทางดังนี้ ทิศทางแรก จะเป็นการพิจารณาสัญญาณในทิศทางตรง และทิศทางที่สองจะพิจารณาสัญญาณที่สะท้อนจากพื้นที่มีผิวแตกต่างกัน โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษารูปแบบการแทรกสอดบนพื้นที่มี ผิวเรียบ, ผิวขรุขระ, และผิวขรุขระมาก และสุดท้ายจะตรวจสอบถึงการแทรกสอดของสัญญาณที่รับได้โดยผ่านทาง การเปรียบเทียบอัตราความผิดพลาดของบิต, การสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) และความผิดเพี้ยนของรูปคลื่น ซึ่งจากพารามิเตอร์ทั้งสามนี้จะแสดงให้เห็นถึงการแทรกสอดของสัญญาณที่เข้ามายังสายอากาศด้านรับได้อย่างชัดเจน

## 1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน

การศึกษาผลของการแทรกสอดของสัญญาณ โดยใช่แบบจำลองสะท้อนพื้นที่มีอยู่ในงานวิจัยที่ผ่านมา ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นและการสูญเสียเชิงวิถึบนพื้นผิวเรียบ โดยความสูงของสายอากาศที่ใช้ในการศึกษาที่ผ่านมานั้น ไม่มีการเปลี่ยนแปลงความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับสัญญาณ นอกจากนั้นยังเป็นการส่งสัญญาณในอวกาศว่าง (Free space) เท่านั้น ซึ่งไม่ได้มีการแยกสัญญาณออกมาให้เห็นว่าการแทรกสอดนั้นเกิดจากการแทรกสอดของสัญญาณในทิศทางตรงและจากสัญญาณในทิศทางสะท้อนพื้นหรือไม่ ส่วนการศึกษาเกี่ยวกับการแทรกสอดของสัญญาณในระบบแถบกว้างอื่นๆ ได้กล่าวถึงการแทรกสอดของเทคโนโลยีอื่นที่มีการใช้ช่วงความถี่ซ้อนทับกัน เช่น ระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย โดยได้มีการศึกษาการแทรกสอดระหว่างระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายในมาตรฐาน IEEE 802.11a กับระบบแถบกว้างยิ่งว่า ระบบแถบกว้างยิ่งก่อให้เกิดการแทรกสอดต่อระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายได้อย่างไร [4] และในทางกลับกันยังมีการศึกษาการแทรกสอดเกี่ยวกับระบบระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายในมาตรฐาน IEEE 802.11a ก่อให้เกิดการแทรกสอดต่อระบบแถบกว้างยิ่งในลักษณะใดเมื่อทำงานร่วมกัน [5]

ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของสัญญาณที่ลดลงเมื่อเกิดการแทรกสอดของสัญญาณในแบบจำลองสะท้อนพื้นเพิ่มเติม โดยได้มีการศึกษาเพิ่มในส่วนของการส่งสัญญาณไปบนพื้นผิวที่มีลักษณะขรุขระและลักษณะขรุขระมาก ส่วนความสูงของสายอากาศนั้นได้มีการปรับเปลี่ยนความสูงระหว่างการส่งและการรับ สำหรับระยะทางที่ใช้ส่งสัญญาณก็มีการเปลี่ยนแปลงด้วย

## 1.6 ขอบเขตการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาถึงผลกระทบของสัญญาณที่เกิดจากการสะท้อนพื้นไปบนพื้นผิวลักษณะแตกต่างกันคือ พื้นผิวเรียบ, พื้นผิวขรุขระ และพื้นผิวขรุขระมาก ว่าส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของสัญญาณในทิศทางตรงอย่างไร โดยนำสัญญาณทั้งสองทิศทางมารวมกันเพื่อหาว่าประสิทธิภาพของสัญญาณเมื่อรวมกันแล้วมีการแทรกสอดเกิดขึ้นอย่างไรในระบบวิทยุแถบกว้างยิ่ง ซึ่งจะพิจารณาอยู่บนพื้นฐานของการทดลองวัดสัญญาณจริง และนำผลที่ได้มาหาเปรียบเทียบการแทรกสอดในแต่ละกรณีต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.7 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บทด้วยกัน ดังต่อไปนี้ คือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐาน ทฤษฎีที่ใช้ ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงพื้นฐานของระบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งจะประกอบไปด้วย ลักษณะเฉพาะและ กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง ซึ่งเป็นองค์ความรู้พื้นฐานในการศึกษาวิจัย

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีต่างๆ ที่ใช้ในการวิจัย ซึ่งประกอบไปด้วย ทฤษฎีการแพร่กระจายคลื่นของระบบแถบกว้างยิ่ง, ทฤษฎีการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการทดลองวัดสัญญาณ เช่น แบบจำลองสะท้อนพื้น รวมไปถึงพารามิเตอร์สำคัญที่ใช้ในการตรวจสอบผลจากการวัด

บทที่ 4 กล่าวถึงขั้นตอนการจำลองสัญญาณโดย โปรแกรมคอมพิวเตอร์, ขั้นตอนการจัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับการวัดสัญญาณ, แบบจำลองที่ใช้ในการวัด, ลักษณะของพื้นผิวที่ใช้ในการวิจัย และ การวิเคราะห์แยกสัญญาณ

บทที่ 5 แสดงผลการวัดในแต่ละกรณีตามที่ได้ออกแบบไว้ผ่านทางค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตามที่ได้กำหนดในบทที่ 4

บทที่ 6 สรุปผลที่ได้แสดงไว้ในบทที่ 5 และข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง (Ultra Wideband)

### 2.1 กล่าวนำ

โดยในอดีตนั้น ระบบเรดาร์แบบแถบกว้างยิ่ง ได้ถูกพัฒนาเพื่อใช้ในงานเฉพาะ อย่างเช่น เป็นเครื่องมือทางทหาร เพราะว่าเรดาร์แบบแถบกว้างยิ่งสามารถที่จะใช้มองผ่านต้นไม้และมองทะลุพื้นดินได้ แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อไม่นานมานี้เทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งได้กลายมาเป็นที่จับตามองอย่างมากจากผู้ใช้งานในส่วนของการสื่อสาร เพราะระบบแบบแถบกว้างยิ่งนั้นเป็นเทคโนโลยีที่น่าสนใจมาก เนื่องจากระบบแบบแถบกว้างยิ่งนั้นใช้ กำลังส่งที่ต่ำ, ใช้ต้นทุนน้อย, สามารถส่งข้อมูลได้ในอัตราที่สูง, ใช้ระบบตำแหน่งได้อย่างแม่นยำ และเกิดการแทรกสอดที่น้อยมาก

ถึงแม้ว่าระบบแบบแถบกว้างยิ่ง นั้นได้มีใช้มาหลายปีแล้ว แต่ระบบแบบแถบกว้างยิ่งกำลังจะเปลี่ยนแปลงอุตสาหกรรมไร้สายในปัจจุบัน เพราะเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งนั้นแตกต่างจากเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายแบบแถบแคบที่มีอยู่เดิม ที่ต้องมีการแพร่กระจายคลื่นบนช่วงความถี่แคบๆ ที่แยกกัน แต่ระบบแบบแถบกว้างยิ่งจะแพร่กระจายสัญญาณ โดยใช้ช่วงความถี่ที่กว้างมาก โดยคลื่นวิทยุแบบทั่วไปจะถูกแทนที่ด้วยขบวนของพัลส์ที่อัตราย่อยล้านพัลส์ต่อวินาที ดังนั้นด้วยแบนด์วิดท์ที่กว้างและการใช้กำลังงานที่ต่ำจึงทำให้ระบบแบบแถบกว้างยิ่งนั้นจะมีลักษณะที่คล้ายกับคลื่นรบกวน (Noise) คล้ายเช่นเดียวกัน

### 2.2 ประวัติและความเป็นมาของระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

เทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งในปัจจุบันได้มีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมากเมื่อเทียบกับในอดีต เมื่อ 20 ปีที่แล้ว โดยระบบแบบแถบกว้างยิ่งได้ถูกใช้เป็นเรดาร์, เซ็นเซอร์ และอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้สื่อสารในหน่วยทหาร การเปลี่ยนแปลงครั้งยิ่งใหญ่ในระบบแบบแถบกว้างยิ่งนั้นเกิดขึ้นในช่วงเดือน กุมภาพันธ์ 2002 เมื่อ FCC (2002a, b) ได้ออกกฎหมายให้ระบบแบบแถบกว้างยิ่งนั้นสามารถใช้ในการส่งข้อมูลและเป็นเรดาร์ในการประยุกต์ต่างๆ ได้

โดยช่วงแบนด์วิดท์ที่ได้กำหนดให้แก่วระบบแบบแถบกว้างยิ่ง คือ 7.5 GHz ซึ่งเป็นช่วงแบนด์วิดท์ที่กว้างมากและอยู่ห่างจากเทคโนโลยีอื่นที่มีใช้กันอยู่ในปัจจุบัน จึงทำให้ระบบแบบแถบกว้างยิ่งนั้นกลายมาเป็นที่นิยมอย่างมากในการใช้เพื่อการค้า และมีความพยายามอย่างมากที่จะนำเอาระบบแบบแถบกว้างยิ่งมาเป็นเทคโนโลยีหลักในการพัฒนาการประยุกต์ต่างๆ เพราะด้วยคุณสมบัติที่โดดเด่น คือ มีแบนด์วิดท์ที่กว้างมากจึงทำให้ระบบแบบแถบกว้างยิ่งสามารถที่จะส่ง

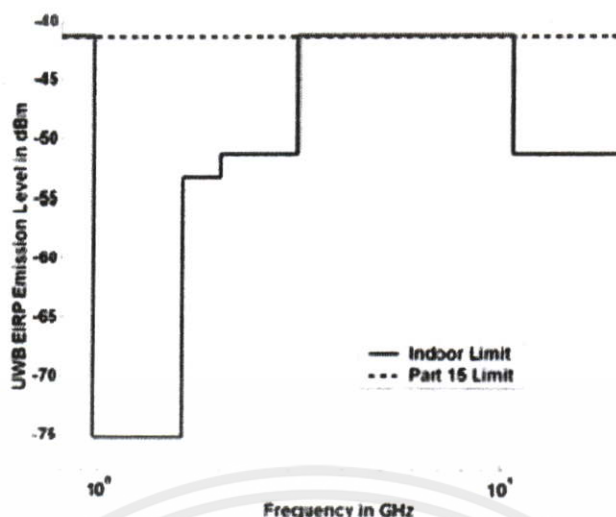
ข้อมูลได้ในอัตราเป็นกิกะบิตต่อวินาที (Gigabit per second: Gbps) และช่วงแบนด์วิดท์ที่ได้กำหนดไว้ก็ยังอยู่ห่างจากระบบต่างๆ ที่มีอยู่อีกด้วย

นอกจากนั้น FCC ยังมีการกำหนดให้ระบบแบบแถบกว้างยิ่งนั้นใช้กำลังส่งที่ต่ำมากถ้ามีการใช้เต็มแบนด์วิดท์ที่กำหนด และใช้ระดับกำลังสูงสุดที่มีอยู่ในการส่งซึ่งมีค่าประมาณ 0.5 mW ซึ่งจะเห็นว่าเป็นสัดส่วนที่น้อยมากเมื่อเทียบกับจำนวนของผู้ใช้ในระบบ ISM (Industrial, Scienal and Electronics Engineers) แบบ 2.45 GHz เช่น ในมาตรฐาน IEEE 802.11 a/b/g รวมทั้งยังมีการออกกฎเพื่อให้ใช้ในสภาพแวดล้อมภายในอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ, การสื่อสารแบบช่วงสั้นให้มีการส่งข้อมูลได้ในอัตราสูง, หรือจะส่งด้วยอัตราที่ต่ำเมื่อใช้สื่อสารในระยะทางไกลมากๆ ส่วนการประยุกต์อื่นๆ อย่างเช่น แบบแถบกว้างยิ่ง, แบบไร้สาย และเครือข่ายท้องถิ่นแบบส่วนบุคคล ได้มีการพัฒนาขึ้นให้มีการส่งได้ในอัตราที่สูงขึ้น คือจาก Mbps เป็น Gbps และสามารถส่งได้ไกลถึง 10 เมตร แต่ถ้าเป็นระยะทางตั้งแต่ 20 เมตรหรือมากกว่านั้นพบว่า การที่จะส่งข้อมูลได้อย่างถูกต้องนั้นเกิดขึ้นน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับระบบสื่อสารแบบไร้สายแบบอื่นๆ

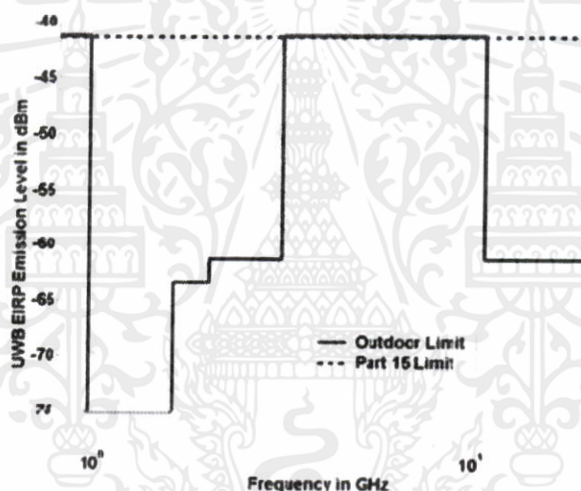
### 2.3 ลักษณะพื้นฐานของระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

ลักษณะของระบบแถบกว้างยิ่งนั้นมีความแตกต่างกับระบบสื่อสารไร้สายที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันอยู่ 2 ประการคือ การส่งสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนั้นจะทำการส่งสัญญาณในลักษณะที่เป็นอิมพัลส์โดยไม่มีการนำเอาสัญญาณข้อมูลไปทำการมอดูเลตกับสัญญาณพาห้ อีกประการหนึ่งคือสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งจะใช้แบนด์วิดท์ในการส่งมากกว่า 25% ของแถบความถี่กลาง หรือมีการใช้แถบความถี่มากกว่า 1.5 GHz ซึ่งจะพบว่ามีความถี่มากกว่าแถบความถี่ของระบบการสื่อสารไร้สายที่ใช้อยู่ในปัจจุบันอย่างมาก โดยทาง FCC ได้กำหนดแถบความถี่ที่ใช้ในระบบแบบแถบกว้างยิ่ง ไว้ที่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ซึ่งมีแบนด์วิดท์เท่ากับ 7.5 GHz จากการที่ระบบแบบแถบกว้างยิ่งใช้แถบความถี่กว้างมากโดยที่แถบความถี่ที่ใช้นั้น ได้มีการซ้อนทับกับระบบการสื่อสารแบบแถบแคบที่มีอยู่ในปัจจุบัน จึงทำให้ทาง FCC ได้กำหนดระดับของความหนาแน่นของกำลังส่งต่อความถี่ในการส่งสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่งไม่เกิน  $-41.3$  dBm/MHz ทั้งภายในและภายนอกอาคารดังรูปที่ 2.1 และ 2.2 ซึ่งจากการที่ระบบแบบแถบกว้างยิ่งมีความหนาแน่นของกำลังงานของสัญญาณต่อความถี่ที่ต่ำจึงทำให้สัญญาณที่ใช้ส่งในระบบแบบแถบกว้างยิ่งได้รับผลกระทบของสัญญาณรบกวนเป็นอย่างมาก [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 สเปกตรัมของระบบแบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคารซึ่งกำหนดโดย FCC



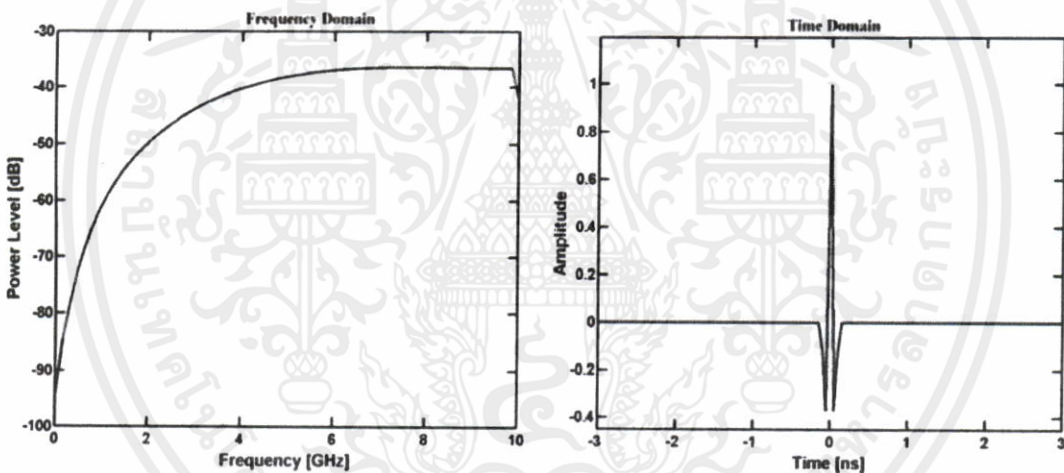
รูปที่ 2.2 สเปกตรัมของระบบแบบแถบกว้างยิ่งภายนอกอาคารซึ่งกำหนดโดย FCC

นอกจากนั้นสัญญาณพัลส์ที่แคบมากๆ ขนาดประมาณ 0.2 นาโนวินาที จึงทำให้มีความหนาแน่นแถบความถี่ที่กว้างมาก ซึ่งจะแพร่กระจายครอบคลุมช่วงความถี่ได้กว้างในระดับกิกะเฮิรตซ์และเนื่องด้วยระบบแบบแถบกว้างยิ่งนี้มีแบนด์วิดท์ที่กว้างมากจึงทำให้สามารถที่จะรองรับอัตราส่งข้อมูลที่ 110 Mbps ในระยะประมาณ 10 เมตรได้ ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าสัญญาณพัลส์ที่ใช้มีขนาดที่แคบมากจึงทำให้ควิตีไซเคิลมีค่าต่ำจึงเป็นสาเหตุทำให้ระบบนี้มีการใช้กำลังงานที่ต่ำลงด้วยดังรูปที่ 1.1 แสดงให้เห็นถึงระดับความหนาแน่นแถบกำลังในระบบแบบแถบกว้างยิ่ง โดยเปรียบเทียบับระบบอื่นๆ โดยรูปที่ 2.3 แสดงถึงลักษณะของสัญญาณพัลส์ในโดเมนเวลาและในการคำนวณกำลังงานของสัญญาณในโดเมนความถี่ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.1 พื้นฐานของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง

ถ้าจะกล่าวถึงระบบแบบแถบกว้างยิ่ง จะรวมถึงอิมพัลส์ (Impulse), พัลส์แคบ (Short-pulse), สัญญาณที่ปราศจากคลื่นพาห์ (Carrier less), แถบกว้างขวดยิ่ง (Super wideband), การอัดพัลส์แบบเฟรมถี่อย่างรวดเร็ว (Fast frequency chirp), และ พัลส์แบบโมโน (Mono-pulse)

ระบบการสื่อสารวิทยุอิมพัลส์และระบบเรดาร์แบบอิมพัลส์ทั้งสองระบบมีการใช้ประโยชน์จากพัลส์ที่มีขนาดสั้นมากในการส่งข้อมูล ซึ่งผลที่ได้จากสเปกตรัมที่กว้างทำให้มีการประยุกต์ใช้คลื่นวิทยุในการสื่อสารจะต้องใช้วิธีการมอดูเลตสัญญาณทางตำแหน่ง (Pulse Position Modulation: PPM) สัญญาณพัลส์ในระบบแบบแถบกว้างยิ่งนั้นจะใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวน ดังนั้นจึงทำให้เกิดการบดบัง (Interception) และการตรวจจับ (Detection) ได้ค่อนข้างยาก เนื่องจากระดับของความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัม (Power Spectral Density) ที่ต่ำมาก และสัญญาณพัลส์ในระบบแบบแถบกว้างยิ่งจะมีการแทรกสอดที่น้อยมากเมื่อเทียบกับระบบวิทยุแบบแถบแคบ (ขึ้นกับข้อกำหนดของประเทศหรือนานาชาติด้วย)



รูปที่ 2.3 ลักษณะของแถบกำลังงานสัญญาณใน โดเมนความถี่และสัญญาณพัลส์ใน โดเมนเวลา

### 2.3.2 จุดเด่นของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง

ซึ่งเป็นระบบที่น่าสนใจดังต่อไปนี้

† เป็นระบบที่มีความซับซ้อนและต้นทุนต่ำ

ความซับซ้อนและต้นทุนที่ต่ำของระบบแบบแถบกว้างยิ่งเกิดขึ้นจากปัจจัยทางลักษณะเบสแบนด์ (Base band) ของการส่งสัญญาณซึ่งไม่เหมือนกับระบบการส่งสัญญาณวิทยุแบบอื่นๆ โดยที่เครื่องส่งจะทำการสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณน้อยมากๆ ในโดเมนทางเวลาซึ่งสามารถที่จะแพร่กระจายคลื่นออกไปโดยปราศจากการเพิ่มความถี่วิทยุหรือตัวพาห์รวมเข้าไปและในส่วนของการรวมสัญญาณวิทยุนั้นจะเป็นการนำสัญญาณเบสแบนด์รวมเข้าไปกับคลื่นพาห์เพื่อย้ายสัญญาณไปยังแถบความถี่ที่มีคุณลักษณะในการแพร่กระจายคลื่นตาม

ต้องการซึ่งสัญญาณจะถูกแพร่กระจายได้ดีโดยปราศจากการแปลงความถี่ให้สูงขึ้น (Up-conversion) และการเพิ่มกำลังให้สูงขึ้น (Amplification) โดยในกระบวนการกลับกันการแปลงความถี่ลง (Down-conversion) และตัวผลิตความถี่ (Local oscillator) จึงไม่จำเป็นในเครื่องรับแบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งทำให้ลดความซับซ้อนของระบบและต้นทุนในการผลิตลงได้มาก

✦ มีระดับของสัญญาณใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวน (Noise)

เนื่องจากความหนาแน่นของพลังงานต่ำและลักษณะเฉพาะในการสุ่มเทียบ (Pseudo-random) ของสัญญาณส่งจึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนี้มีลักษณะคล้ายกับสัญญาณรบกวน ซึ่งทำให้การตรวจสัญญาณทำได้ยากและยังมีปรากฏในเอกสารทางการวิจัยว่าการส่งสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนั้น ไม่ก่อให้เกิดการแทรกสอดของสัญญาณกับระบบคลื่นความถี่วิทยุอื่นๆ เนื่องจากสัญญาณของระบบแบบแถบกว้างยิ่งมีการแพร่กระจายกำลังงานในระดับต่ำโดยอยู่ในระดับของสัญญาณรบกวน (Noise Floor) จึงทำให้ระบบอื่นมองว่าสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนี้เป็นสัญญาณรบกวนเลยถูกกำจัดออกจากพิจารณาของระบบ

✦ มีความต้านทานต่อคลื่นหลายทิศทาง (Multipath) และการรบกวนของสัญญาณใกล้เคียงในระบบการมอดูเลตทาง โดเมนเวลา (Time modulation)

มีความต้านทานต่อคลื่นหลายทิศทางและการรบกวนของสัญญาณใกล้เคียงในระบบการมอดูเลตทางเวลาได้สูง จึงมีความเป็นไปได้ที่จะทำการส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงในระดับร้อยเมกะบิตต่อวินาที อีกทั้งยังได้ถูกประเมินในส่วนของจำนวนของผู้ใช้งานในระบบการสื่อสารแบบคลื่นวิทยุแบบอิมพัลส์ว่าได้จำนวนที่มากกว่าระบบทั่วไปและเนื่องด้วยมีแบนด์วิดท์ของสัญญาณส่งที่กว้างจึงทำให้มีโอกาสได้รับผลกระทบจากคลื่นหลายทิศทางได้สูง เมื่อระบบมีแบนด์วิดท์ที่กว้างขึ้นทำให้เกิดความแตกต่างทางความถี่อย่างมากเมื่อรวมเข้ากับการส่งสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องจึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งที่มีการมอดูเลตทางเวลาสามารถต้านทานต่อการแพร่กระจายคลื่นหลายทิศทางที่มีลักษณะรุนแรงและจากการรบกวนหรือการแทรกสอดจากสัญญาณที่มีความถี่ใกล้เคียงได้

✦ มีความละเอียดสูงในโดเมนเวลาสำหรับการกำหนดตำแหน่งและการประยุกต์ใช้ใน ระบบติดตาม (Tracking)

ด้วยพัลส์ที่มีลักษณะทางโดเมนเวลาที่แคบมากๆ หรืออาจกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่าเป็นพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณน้อยมาก จึงหมายถึงระบบคลื่นวิทยุแบบแถบกว้างยิ่งมีความเป็นไปได้สูงที่จะสามารถควบคุมจังหวะ และการคำนวณเวลาได้อย่างถูกต้องแม่นยำมากกว่าระบบดาวเทียมบอกพิกัด (Global Positioning System: GPS) และระบบคลื่นวิทยุแบบอื่นๆ อีกทั้งด้วยคุณสมบัติในการทะลุผ่านวัตถุได้ดีจึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งที่มีการมอดูเลตทางเวลา

ได้ถูกนำมาใช้งานในระบบของเราในระดับขั้น เช่น ในการช่วยเหลือชีวิตและปฏิบัติการป้องกัน อาชญากรรม เช่นเดียวกับการใช้ในงานสำรวจและในอุตสาหกรรมการทำเหมือง เป็นต้น

## 2.4 กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ได้ถูกกำหนดขึ้นในการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง นั่นคือการจัดสรร ความถี่ในการใช้งานซึ่งได้มีกลุ่มทำงานในสหรัฐอเมริกาได้พยายามทำการจำกัดข้อกำหนดในการ ใช้งานช่วงความถี่ของเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่ง จากกฎข้อบังคับเดิมของ FCC โดยกลุ่มงานนี้ ก็ก่อตั้งขึ้นอย่างเป็นทางการ โดยใช้ชื่อว่า กลุ่มทำงานเกี่ยวกับระบบแบบแถบกว้างยิ่ง (Ultra-Wideband Working Group: WG) เพื่อทำการเจรจาหาข้อตกลงร่วมกับ FCC เช่นเดียวกันกับใน ยุโรปก็ได้มีการหาข้อตกลงการจัดสรรคลื่นความถี่และการแทรกสอดของควมถี่วิทยุ ซึ่งใน ปัจจุบันยังไม่มีข้อกำหนดแถบความถี่สำหรับการใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่งในสถาบันกำหนด มาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป (European Telecommunications Standards Institute: ETSI) หรือ สหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union: ITU)

### 2.4.1 กฎข้อบังคับของระบบแบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา

ในปี ค.ศ. 1998 FCC ได้ออกประกาศเกี่ยวกับการตรวจสอบ (Notice of Inquiry: NOI) ถึงแม้ว่าจะมีการคาดการณ์ถึงระดับกำลังงานที่จะใช้ในการส่งผ่านสัญญาณให้มีระดับต่ำ มากแล้วก็ตาม แต่ยังมีกลุ่มผู้ที่สนับสนุนในระบบเดิมที่ใช้งานกันอยู่จึงได้ทำการต่อต้านการนำ ระบบแบบแถบกว้างยิ่งมาใช้งานในการสื่อสารของพลเรือน โดยการเรียกร้องส่วนมากจะ เกี่ยวข้องกับการคาดการณ์ถึงการเพิ่มขึ้นของระดับการแทรกสอดในแถบความถี่ที่มีอยู่อย่างจำกัด อาทิเช่น แถบความถี่ในการกระจายสัญญาณ โทรศัพท์, แถบความถี่ที่สำรองไว้สำหรับคลื่นวิทยุ ทางดาราศาสตร์และระบบ GPS โดยองค์การบริหารการบินแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Aviation Administration : FAA) ได้แสดงความเป็นห่วงต่อการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบความ ปลอดภัยในกิจการการบิน และทิศทางในการค้นคว้าเกี่ยวกับเครื่องส่งในระบบแบบแถบกว้างยิ่ง ด้วยเช่นกัน

เมื่อเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งได้ถูกเสนอสำหรับการนำมาใช้ในกิจการการสื่อสารของ พลเรือน ซึ่งยังไม่ได้มีการกำหนดลักษณะสัญญาณที่จะใช้ส่ง จึงได้มีหน่วยงานหนึ่งที่ชื่อว่า DARPA (Defense Advanced Research Project Agency) ได้ทำการออกข้อกำหนดฉบับที่หนึ่ง สำหรับสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งซึ่งอยู่บนพื้นฐานอัตราส่วนแบนด์วิดท์ ( $B_f$ ) ของสัญญาณโดย ต้องมีค่ามากกว่า 0.25 โดยสามารถกำหนดได้ตามสมการที่ (2.1) (Taylor, 1995)

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

โดยที่  $f_L$  คือความถี่ต่ำสุด และ  $f_H$  คือ ความถี่สูงสุดของแถบความถี่ที่ใช้งานในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

ในวันที่ 14 กุมภาพันธ์ ปี ค.ศ. 2002 FCC ได้ออกกฎให้กับระบบแบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งเป็นการกำหนดขอบเขตของการแพร่กระจายกำลังงานฉบับที่ 1 สำหรับระบบแบบแถบกว้างยิ่ง และยังอนุญาตให้เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในลักษณะทางการค้าได้อีกด้วย โดยรายงานล่าสุดของคำประกาศและระเบียบการฉบับที่ 1 ได้เผยแพร่ต่อสาธารณชนในวันที่ 22 เดือนเมษายน ปี ค.ศ. 2002 ซึ่งในเอกสารได้กล่าวถึงการอนุญาตให้ใช้งานในระบบแบบแถบกว้างยิ่ง ได้ 4 ประเภทและการกำหนดขอบเขตการแพร่กระจายพลังงานสำหรับการใช้ในแต่ละประเภท โดยจากนิยามข้างต้นได้ทำการจำกัดค่า  $B_f$  ไว้ไม่ให้ต่ำกว่า 0.2 ตามสมการที่ (2.1) และข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC ได้แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.1 สำหรับใช้ในการสื่อสารข้อมูลทั้งภายในและภายนอกอาคาร

ตารางที่ 2.1 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร

ความถี่(MHz)	Loss ภายใน (dBm)	Loss ภายนอก (dBm)
960 – 1610	-75.3	-75.3
1610 – 1990	-53.3	-63.3
1990 – 3100	-51.3	-61.3
3100 – 10600	-41.3	-41.3
สูงกว่า 10600	-51.3	-61.3

#### 2.4.2 กฎข้อบังคับของระบบแบบแถบกว้างยิ่งในยุโรป

ปัจจุบัน โครงร่างของข้อกำหนดของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง ในทวีปยุโรปอยู่ในช่วงรอข้อมูลทางเทคนิคที่เกี่ยวกับผลกระทบของระบบแบบแถบกว้างยิ่งต่อระบบเดิมที่มีใช้กันอยู่ โดยทางยุโรปนั้นได้มีข้อกำหนดบางส่วนที่รัดกุมกว่าของทางสหรัฐอเมริกา เพราะทางด้านยุโรปนั้นในส่วนของเทคโนโลยีใหม่ต้องแสดงให้เห็นว่าผลกระทบที่มีนั้นน้อยหรือไม่ส่งผลกระทบต่อระบบเดิมที่มีอยู่เลย โดยข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานสำหรับการใช้งานทั้งภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย ITU หรือ ETSI แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงาน โดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร

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

## 2.5 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงประวัติและความเป็นมาของเทคโนโลยีแบบแถบกว้างตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันและรวมไปถึงการกำหนดกฎเกณฑ์ในการใช้งานและข้อบังคับต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นช่วงความถี่ที่ใช้งานซึ่งสัมพันธ์กับแบนด์วิธของระบบ ระดับกำลังงานที่แพร่กระจายทั้งภายในและภายนอกอาคารที่ถูกกำหนดโดยองค์กรที่มีหน้าที่เกี่ยวข้อง อาทิเช่น FCC, WG, ETSI, หรือ ITU เป็นต้น ซึ่งเป็นองค์ความรู้เบื้องต้นของเทคโนโลยีนี้เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการศึกษาค้นคว้าวิจัยในระบบแบบแถบกว้างต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

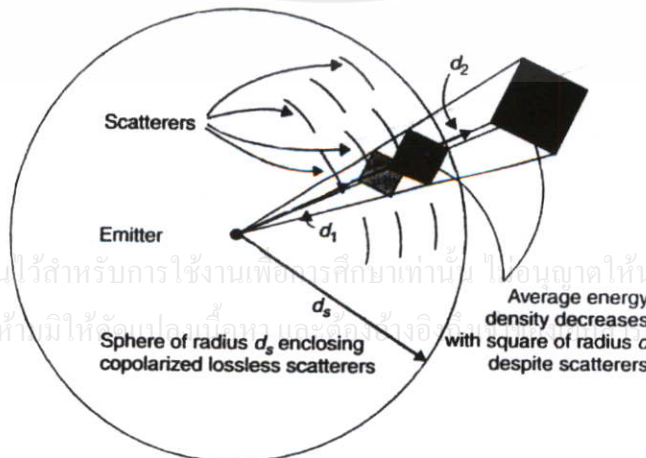
## ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์

### 3.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะอธิบายถึงทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการจำลองสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งและทฤษฎีการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยจะทำการเน้นในไปที่การแพร่กระจายของระบบแบบแถบกว้างยิ่งในอวกาศว่าง (Free Space) และจากการสะท้อนพื้นซึ่งมีพื้นฐานมาจากหลักการของฟรีส รวมถึงลักษณะของด้านรับสัญญาณที่ใช้ในระบบแบบแถบกว้างยิ่ง โดยได้อธิบายทฤษฎีของการสะท้อนบนพื้น และพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ศึกษาผลการแทรกสอดของสัญญาณ เช่น การกระจายทางเวลา, อัตราความผิดพลาดของบิต และการสูญเสียเชิงวิถี เป็นต้น และวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้หลักการดังกล่าวในการประยุกต์ร่วมกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อพิจารณาผลที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ในโดเมนความถี่ โดยในบทที่ 4 ได้กล่าวถึงขั้นตอนการวัดและการวิเคราะห์สัญญาณ สำหรับในบทที่ 5 จะเป็นการแสดงผลที่ได้จากการวิเคราะห์

### 3.2 การแพร่กระจายคลื่นของระบบแถบกว้างยิ่งในอวกาศว่าง

การแพร่กระจายสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งในอวกาศว่างนั้นมีลักษณะคล้ายกับการแพร่ของคลื่นแบบ 3 มิติ นอกจากพื้นที่ใกล้เคียงของสายอากาศแล้วพลังงานในการแพร่กระจายนั้นจะกระจายแบบวงกลมในทุกๆ พื้นที่ที่สัญญาณเดินทางไปถึง สำหรับการแพร่กระจายแบบรอบทิศทางนั้น พลังงานทั้งหมดจะมีค่าคงที่เหนือพื้นที่ผิว ( $4\pi d^2$ ) เมื่อวงกลมนั้นมีรัศมีเท่ากับ  $d$  ดังนั้นการแพร่กระจายของความหนาแน่นพลังงานของสัญญาณจะไม่ขึ้นกับความถี่ โดยความหนาแน่นพลังงานจะแพร่กระจายในลักษณะ  $1/4\pi d^2$  แทน ดังที่แสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การแพร่กระจายเป็นวงกลมของสัญญาณ [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่ข้อมูลนี้บนสื่อออนไลน์ใดๆ ทั้งสิ้น หากครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นพลังงานที่รับได้โดยสายอากาศที่มีค่าอัตราขยายการส่งคงที่ โดยพื้นที่ในการรับ สัญญาณมีค่า  $A_e = \lambda^2/4\pi$  ที่ซึ่งความยาวคลื่น  $\lambda = c/f_m$  จะถูกเขียนให้อยู่ในรูปของความถี่และความเร็วในการแพร่กระจาย เมื่อพิจารณาจากสูตรการส่งผ่านของฟรีส ([Friss' 1946]) ดังสมการที่ (3.1)

$$P_L = 20 \log \left( \frac{c}{4\pi d f_m} \right) \quad (3.1)$$

จากสมการข้างบนได้อธิบายถึงพลังงานที่ใช้ส่งระหว่างสายอากาศแบบมีค่าอัตราขยายการส่งคงที่ทั้งสองด้านได้ โดยจากสมการที่ (3.1) คือค่าในเทอมของการกระจายของคลื่นที่ไม่แปรผันกับความถี่และในเทอมของพื้นที่ที่รับสัญญาณของสายอากาศแบบขึ้นกับความถี่ ซึ่งการแปรผันกับความถี่ของการแพร่กระจายนั้นมาจากการแปรผันกับความถี่ของพื้นที่ในการรับสัญญาณของสายอากาศที่มีค่าอัตราขยายการส่งคงที่ ( $A_e = c^2/4\pi f^2$ ) ที่จะถูกประมาณค่าด้วย  $f_m$  ส่วนค่ากำลังงานที่รับได้ทั้งหมดจะหาได้จากการอินทิเกรตค่าความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมกับค่า  $A_e$  ในรูปของความถี่ โดยการอินทิเกรตนี้จะได้ค่าโดยประมาณจากค่าความถี่  $f_m$  ซึ่งเป็นค่าความถี่กลางระหว่างค่าความถี่สูงสุดและความถี่ต่ำสุดของสัญญาณ

### 3.3 การแพร่กระจายคลื่นของระบบแบบแถบกว้างยิ่งในการสะท้อนพื้น

การแพร่กระจายของคลื่น ไปบนพื้นผิวเรียบที่เป็นการสะท้อนจากพื้นจะถูกแสดงดังรูปที่ 3.2 โดยระยะของทิศทางตรงและทิศทางสะท้อนมีค่าเป็น D และ R ตามลำดับ ซึ่งจะอยู่ในรูปของความสูงของสายอากาศ โดย  $H_1$  คือความสูงของสายอากาศทางส่งและ  $H_2$  คือความสูงของสายอากาศรับ ซึ่งอยู่ห่างกันเป็นระยะทาง d ([Siwiak 1998]) ดังสมการที่ (3.2) และ (3.3)

$$D = \sqrt{d^2 + (H_1 - H_2)^2} \quad (3.2)$$

$$R = \sqrt{d^2 + (H_1 + H_2)^2} \quad (3.3)$$

สำหรับค่าประวิงเวลาที่แตกต่างกันระหว่างสัญญาณในทิศทางสะท้อนและสัญญาณในทิศทางตรงสามารถหาได้จากสมการที่ (3.4)

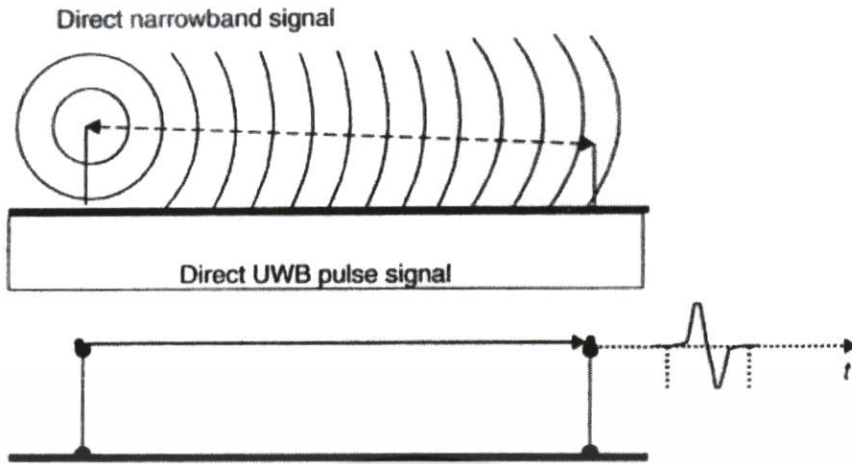
$$\Delta t = \frac{(R - D)}{c} \quad (3.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

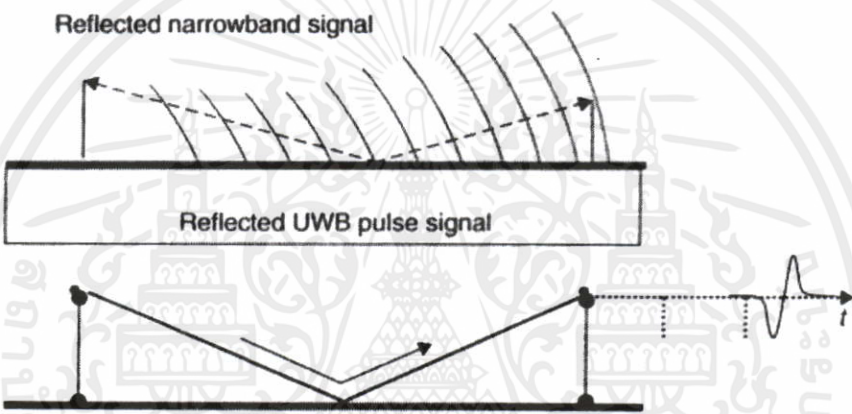
เมื่อ c เป็นค่าของความเร็วที่ใช้ในการแพร่กระจาย

ไม่ว่ากรณีใดทางต้นออกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

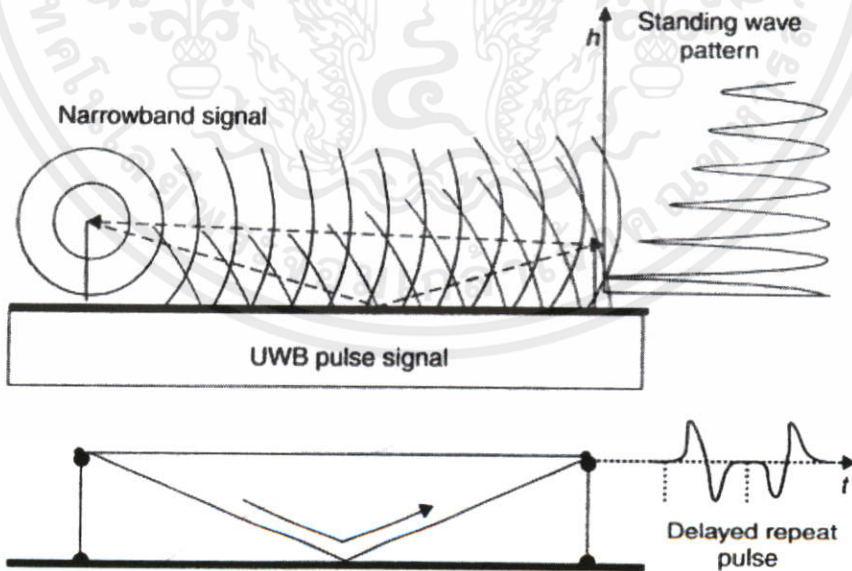
จากรูปที่ 3.2 (ก) แสดงการแพร่กระจายของสัญญาณในทิศทางตรงของสัญญาณแบบแถบแคบและของสัญญาณพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง โดยสัญญาณแบบแถบแคบนั้นใช้คลื่นแบบไซน์ ซึ่งจะมีการแพร่กระจายสัญญาณแบบคงที่และต่อเนื่องกันไปตลอด ส่วนสัญญาณพัลส์จะส่งแบบไม่



(ก)



(ข)



(ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

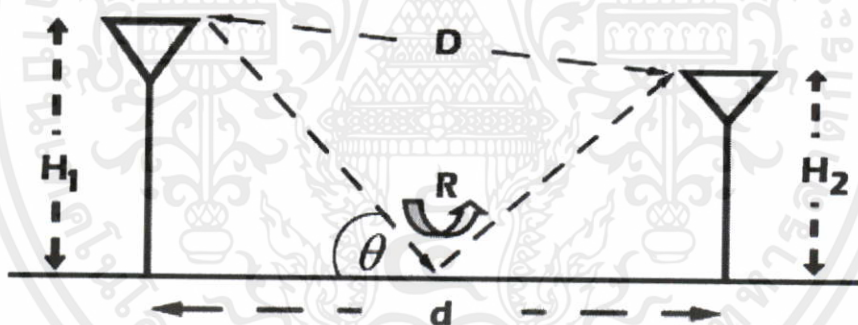
ไม่ว่ากรณีใดๆ รูปที่ 3.2 (ก) สัญญาณในทิศทางตรงของระบบแบบแถบแคบและของระบบแบบแถบกว้าง

(ข) สัญญาณในทิศทางสะท้อนของระบบแบบแถบแคบและของระบบแบบแถบกว้าง

(ค) สัญญาณในทิศทางตรงและทิศทางสะท้อนในการแพร่กระจายแบบสองทิศทาง [6]

ต่อเนื่องและส่งสัญญาณในช่วงสั้นๆ เท่านั้นในรูปที่ 3.2 (ข) แสดงสัญญาณที่เกิดจากการสะท้อนพื้น ซึ่งสัญญาณแบบแถบแคบนั้นยังคงเป็นคลื่นแบบไซน์และมีการแพร่กระจายแบบต่อเนื่อง เช่นเคม ในขณะที่อิมพัลส์ที่สะท้อนมาจากพื้นนั้นจะเกิดการประวิงเวลา (Delay) และเกิดการกลับเฟสเมื่อเปรียบเทียบกับเฟสของสัญญาณในทิศทางตรง โดยในรูปที่ 3.2 (ค) จะแสดงการรวมกันของสัญญาณทั้งจากทิศทางตรงและทิศทางสะท้อน โดยคลื่นแบบไซน์จากทิศทางตรงและจากทิศทางสะท้อนยังมีแพร่กระจายแบบต่อเนื่องไปเรื่อยๆ จึงส่งผลให้คลื่นแบบไซน์จากทั้งสองทิศทางนั้นมีการรวมกันในรูปแบบของคลื่นเป็นแนวตั้ง โดยขนาดของคลื่นนั้นสามารถสังเกตได้จากภาพด้านขวามือของรูปที่ 3.2 (ค) ส่วนการรวมสัญญาณของระบบแบบแถบกว้างขีงนั้นจะเป็นแบบช่วงๆ ไม่ต่อเนื่อง เมื่อพิจารณาสัญญาณที่รับได้พบว่าสัญญาณที่มาจากทิศทางตรงจะมาถึงก่อน และตามมาด้วยพัลส์ที่มาจากทิศทางสะท้อน ซึ่งถ้าความแตกต่างระหว่างระยะทางของทิศทางตรงและทิศทางสะท้อนมีค่ามากกว่าความยาวของพัลส์ สัญญาณพัลส์ที่รับได้จะมีค่าที่ต่างกันมากและไม่เกิดการเหลื่อมล้ำกันเลย

### 3.4 แบบจำลองสะท้อนพื้นของคลื่น (Ground Reflection Model)



รูปที่ 3.3 แบบจำลองสะท้อนพื้น

จากรูปที่ 3.3 แสดงถึงแบบจำลองสะท้อนพื้น [7] ซึ่งเป็นแบบจำลองที่พิจารณาสัญญาณ 2 สัญญาณ คือ สัญญาณที่มาจากทิศทางตรงเป็นสัญญาณที่เดินทางจากสายอากาศด้านส่งมาถึงสายอากาศด้านรับ โดยไม่มีสิ่งกีดขวางหรือเป็นทิศทางที่มองเห็น (Line of sight: LOS) ได้ ส่วนสัญญาณที่มาจากการสะท้อนเป็นสัญญาณที่เดินทางจากสายอากาศด้านส่งมาถึงสายอากาศทางด้านรับโดยสัญญาณจะเดินทางกระทบพื้นแล้วสะท้อนกลับมา

โดยสามารถคำนวณหาระยะทางระหว่างสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับของสัญญาณในทิศทางตรง ( $D$ ) และระยะทางระหว่างสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับของสัญญาณในทิศทางสะท้อนพื้น ( $R$ ) ได้จากสมการที่ (3.2) และ (3.3) [13]

โดย  $d$  คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับ เมื่อ  $H_1$  และ  $H_2$  คือ ความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับ ตามลำดับ และสามารถคำนวณหาค่ามุมตกกระทบ ( $\theta$ ) จากสมการที่ (3.5)

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{H_1 + H_2}{d}\right) \quad (3.5)$$

ส่วนสัญญาณด้านรับสามารถคำนวณได้จากสัญญาณที่มาจกอวกาศว่างร่วมกับสัญญาณที่สะท้อนมาจากพื้น ดังสมการที่ (3.6) [8]

$$V_{rec} = V_{los} + V_{ref} \quad (3.6)$$

โดย  $V_{rec}$  คือ สัญญาณที่สายอากาศด้านรับตรวจสอบได้ และ  $V_{los}$  คือ สัญญาณจากทิศทางตรงและ  $V_{ref}$  คือ สัญญาณที่สะท้อนพื้นซึ่ง  $V_{los}$  สามารถคำนวณได้จากสมการ Friis' transmission ส่วน  $V_{ref}$  สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.7)

$$V_{ref} = \Gamma V_i \quad (3.7)$$

โดย  $\Gamma$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นผิว (Reflection Coefficient of Ground) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (3.8)

$$\Gamma = \Gamma_v + \Gamma_h \quad (3.8)$$

โดย  $\Gamma_v, \Gamma_h$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นแบบ โพลาริเซชันแนวตั้ง (Vertical Polarization) และแบบ โพลาริเซชันแนวนอน (Horizontal Polarization) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (3.9) และ (3.10)

$$\Gamma_v = \frac{-\epsilon_r \sin \theta + \sqrt{\epsilon_r - \cos^2 \theta}}{\epsilon_r \sin \theta + \sqrt{\epsilon_r - \cos^2 \theta}} \quad (3.9)$$

$$\Gamma_h = \frac{\sin \theta - \sqrt{\epsilon_r - \cos^2 \theta}}{\sin \theta + \sqrt{\epsilon_r - \cos^2 \theta}} \quad (3.10)$$

โดยค่า  $\epsilon_r$  เป็นค่าสภาพการยอมของพื้นแต่ละชนิด ซึ่งค่านี้สามารถหาได้จาก ตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ค่าสภาพการยอมสัมพัทธ์และค่าสภาพนำของวัสดุไดอิเล็กตริก

Material	Relative Permittivity, $\epsilon_r$	Conductivity, $\sigma$ (S/m)	Frequency (MHz)
Poor ground	4	0.001	100
Typical Ground	1.5	0.005	100
Good Ground	25	0.02	100
Sea water	81	5.0	100
Fresh water	81	0.001	100
Brick	4.44	0.001	4000
Limestone	7.51	0.028	4000
Marble	11.6	-	-

การหาสัญญาณด้านรับของสัญญาณที่มาจากสองทิศทางนี้ จำเป็นต้องหาฟังก์ชันถ่ายโอนของแต่ละเส้นทางเสียก่อน โดยฟังก์ชันถ่ายโอนของสัญญาณทิศทางตรงสามารถหาได้จากสมการที่ (3.11)

$$H_{dir}(f, d) = \frac{1}{4\pi|f|t'} e^{-j2\pi ft'} \quad (3.11)$$

เมื่อ  $t' = D/c$  ซึ่ง  $D$  เป็นระยะทางของสัญญาณที่มาจากทิศทางตรง ตามรูปที่ 3.2 และ  $c$  เป็นความเร็วแสง

ส่วนฟังก์ชันถ่ายโอนของสัญญาณทิศทางสะท้อนสามารถหาได้จากสมการที่ (3.12)

$$H_{ref}(f, d) = \frac{1}{4\pi|f|t''} e^{-j2\pi ft''} \quad (3.12)$$

เมื่อ  $t'' = R/c$  ซึ่ง  $R$  เป็นระยะทางของสัญญาณที่มาจากทิศทางสะท้อน ตามรูปที่ 3.2 และ  $c$  เป็นความเร็วแสง

### 3.5 พื้นฐานเกี่ยวกับการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation pattern) คือ ลักษณะของการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งเป็นฟังก์ชันของสเปซ โคออดิเนท (Space coordinate) ส่วนใหญ่แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นนี้มักจะคิดในบริเวณที่เป็นสนามระยะไกล (Far Field)

การอธิบายคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่น จะอาศัยคุณสมบัติต่างๆ ดังต่อไปนี้คือ ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation intensity), ความเข้มของสนาม (Field strength),

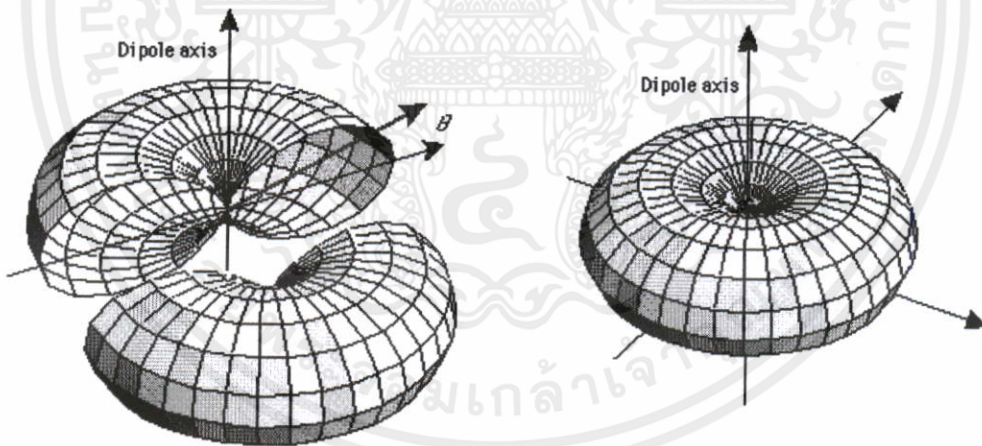
เฟส (Phase) และการโพลาไรเซชัน (Polarization) ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้จะแสดงอยู่ในรูปของพลังงานซึ่งเป็นฟังก์ชันของตำแหน่งแบบสามมิติที่สังเกตได้เมื่อมีรัศมีคงที่

รูปที่ 3.4 แสดงระบบ โคออดิเนตที่ใช้แสดงคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นสำหรับการใช้เส้นเพื่อแสดงกำลังงานที่สายอากาศรับได้ตามแนวรัศมีที่มีค่าคงที่ มีชื่อเรียกว่า แบบรูปกำลังงาน (Power pattern) ของสายอากาศ และกราฟยังแสดงการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้าในทิศทางต่างๆ ที่มีรัศมีคงที่ มีชื่อเรียกว่า แบบรูปสนาม (Field pattern) ของสายอากาศนั้น

### 3.5.1 แบบรูปแบบไอโซทรอปิก, แบบชี้ทิศทาง และ แบบรอบทิศทาง

ตัวแพร่กระจายคลื่นแบบไอโซทรอปิก (Isotropic radiator) คือ สายอากาศที่ถูกสมมุติขึ้น โดยมีคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นเท่ากันในทุกทิศทาง ยกตัวอย่าง เช่น พอยท์ซอร์ส (Point source) เป็นสายอากาศแบบหนึ่งที่ไม่สามารถสร้างได้จริง แต่มักจะใช้เพื่อเป็นตัวแทนเปรียบเทียบกับสายอากาศที่สร้างขึ้นจริงเกี่ยวกับการแสดงคุณสมบัติและแสดงทิศทางของสายอากาศ [17]

สายอากาศแบบชี้ทิศทาง (Directional antenna) เป็นสายอากาศซึ่งมีคุณสมบัติของการส่งหรือรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดีเฉพาะในทิศทางที่กำหนดเท่านั้น



รูปที่ 3.4 แบบรูปของการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบรอบทิศทาง (ออมนิไดเรกชันแนล)

### 3.5.2 แบบรูปหลัก

เรามักจะอธิบายคุณสมบัติของสายอากาศในเทอมของแบบรูปหลัก (Principal pattern) ของสนามไฟฟ้า  $E$  และสนามแม่เหล็ก  $H$  สำหรับสายอากาศที่โพลาไรซ์แบบเส้นตรง (Linearly polarization) แบบรูปในระนาบ  $E$  จะเป็นระนาบที่บรรจุเวกเตอร์สนามไฟฟ้า และทิศทางของการแพร่กระจายคลื่นที่แรงที่สุด ส่วนแบบรูปในระนาบ  $H$  จะเป็นระนาบที่บรรจุเวกเตอร์สนามแม่เหล็ก และทิศทางของการแพร่กระจายคลื่นที่แรงน้อยที่สุด [15]

### 3.5.3 โลบของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

โอบของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation lobe) เป็นส่วนหนึ่งของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดเป็นบริเวณ โดยการปิดล้อมของส่วนที่มีความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นต่ำ รูปที่ 3.5 แสดงรูปแบบของมุม (Polar pattern) แบบสามมิติ ซึ่งแบ่งเป็น โอบแบบต่างๆ ดังนี้

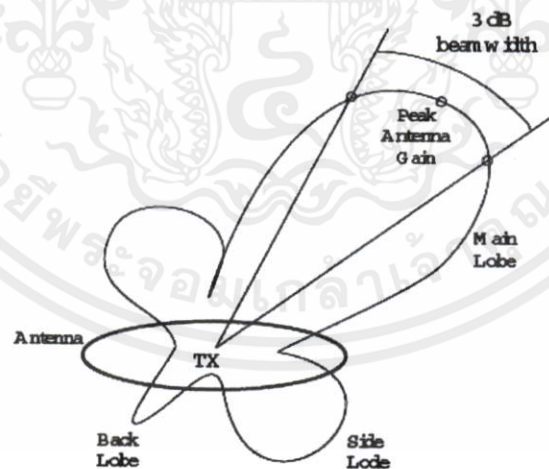
โอบหลัก (Major lobe หรือ Main lobe) เป็นโอบของการแพร่กระจายคลื่นซึ่งอยู่ในทิศทางที่มีการแพร่กระจายคลื่นแรงที่สุด ตามรูปที่ 3.5 มีโอบหลักอยู่ในทิศทาง  $\theta = 0$  สำหรับสายอากาศบางชนิด อาจมีโอบหลักมากกว่าหนึ่งโอบ เช่น สายอากาศแยกบีม (Split beam-antenna)

โอบย่อย (Minor lobe) ได้แก่โอบอื่นๆ นอกเหนือไปจากโอบหลัก

โอบข้าง หรือ ไซด์โอบ (Side lobe) เป็นโอบย่อยที่อยู่ติดกับโอบหลัก และอยู่ในทิศทางครึ่งบนของวงกลมซีกเดียวกับโอบหลัก

โอบหลัง (Back lobe) เป็นโอบย่อยที่อยู่ในครึ่งวงกลมตรงข้ามกับโอบหลัก

ปกติแล้วโอบย่อยจะเกิดจากการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางที่ไม่ต้องการ ดังนั้นสายอากาศที่ดีจะต้องกำจัดโอบเหล่านี้ให้น้อยที่สุด โดยระดับของโอบย่อยมักจะแสดงเป็นอัตราส่วนของความหนาแน่นของพลังงานในโอบที่คิดกำลังต่อความหนาแน่นของพลังงานในโอบหลัก ซึ่งจะเรียกว่า อัตราส่วนของโอบข้าง (Side lobe ratio) หรือระดับของโอบข้าง (Side lobe level: SLL) ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปนั้นมักจะต้องการให้ระดับของโอบข้างน้อยกว่า -20 dB



รูปที่ 3.5 โอบของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 3.5.4 ลักษณะของสายอากาศที่ใช้ในระบบแถบกว้างยิ่ง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีในระบบแบบแถบกว้างยิ่ง สายอากาศเป็นตัวกรองรูปคลื่นที่มาก โดยความผิดเพี้ยนของสัญญาณในโดเมนความถี่นั้นก่อให้เกิดความผิดเพี้ยนต่อรูปแบบของพัลส์ที่ใช้ส่ง ซึ่งจะทำให้ทางด้านรับสัญญาณมีความซับซ้อนยิ่งขึ้น

สายอากาศในระบบแบบแถบกว้างยิ่งยั้งจำเป็นต้องมีศูนย์กลางของเฟสและ มีค่า VSWR ที่คงที่ตลอดทั้งแบนด์วิดท์ในการส่งสัญญาณ การเปลี่ยนแปลงค่าของศูนย์กลางของเฟส อาจจะทำให้เกิดความผิดเพี้ยนของพัลส์ที่ถูกส่งและได้ประสิทธิภาพที่ต่ำมากทางด้านรับสัญญาณ ดังนั้นการออกแบบสายอากาศสำหรับระบบแบบแถบกว้างยิ่งยั้งนั้นเป็นสิ่งที่ท้าทายอย่างยิ่งเพราะ ต้องทำให้ต้นทุนต่ำ, ทำให้มีขนาดเล็กกลง และต้องมีโครงสร้างที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมกับ อุปกรณ์ที่ใช้ในการสื่อสารต่างๆ ไปได้อีกด้วย

### 3.6 ทฤษฎีของการส่งสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่งยั้ง

สำหรับสูตรอัตราขยายการส่งของฟรีสสามารถหาได้จากสมการที่ (3.13)

$$G_{Friis}(f) = \frac{P_r(f)}{P_t(f)} = G_f(f) \cdot G_r(f) \cdot G_t(f) \quad (3.13)$$

โดย  $P_t(f)$  และ  $P_r(f)$  คือกำลังของสัญญาณด้านส่งและสัญญาณด้านรับในรูปของ กำลังงาน และ  $G_t(f)$  และ  $G_r(f)$  เป็นอัตราขยายการส่งของสัญญาณด้านส่งและสัญญาณ ด้านรับในรูปเดซิเบล ตามลำดับ [11]

$$G_f(f) = \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \quad (3.14)$$

โดยที่  $G_f(f)$  คือ อัตราขยายการส่งของช่องสัญญาณในอวกาศว่างหรือทิศทางที่ มองเห็น หรือเขียนอยู่ในรูปฟังก์ชันถ่ายโอนดังสมการ

$$H_{e-Friis}(f, d) = H_f(f, d)H_r(f)H_t(f) \quad (3.15)$$

โดย  $H_f$  คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนของอวกาศว่าง และ  $H_t$  และ  $H_r$  คือ ฟังก์ชันถ่ายโอน ของสายอากาศด้านส่งและด้านรับสำหรับกรณีไอโซทรอปิก [16]

$$H_{e-Friis, Iso}(f) = H_f \cdot H_{Iso} \quad (3.16)$$

และสามารถคำนวณหาฟังก์ชันถ่ายโอนของอวกาศว่างได้จากสมการที่ (3.17)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ  $H_f(f, d) = \frac{c}{4\pi d f} \exp(-jkd)$  อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ (3.17) ในการคำนวณค่า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{โดย } k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

แต่สูตร Friis' transmission ตามสมการที่ (3.15) เมื่อนำมาใช้ร่วมกับระบบสื่อสารที่เป็นแบบแถบกว้าง เช่น ระบบแบบแถบกว้างยิ่ง จะพบว่ามีย่อจำกัดในเรื่องของความถี่ที่มีช่วงกว้าง ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงสมการของ Friis' transmission ให้เป็นสมการที่ (3.18) [12] ซึ่งเรียกว่า Extension Friis' transmission formula ซึ่งเขียนอยู่ในรูปของฟังก์ชันถ่ายโอน โดยการเพิ่มฟังก์ชันถ่ายโอนของ Generator pulse filter,  $H_i$  เข้ามา

$$H_{e-Friis}(f, d) = H_f(f, d)H_i(f)H_r(f)H_t(f) \quad (3.18)$$

ผลตอบสนองทางอิมพัลส์ในอวกาศว่างนั้นสามารถคำนวณได้จากการ Inverse Fourier Transform ซึ่ง  $H_f$  นั้นเป็นฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณในอวกาศ  $H_r(f)$  และ  $H_t(f)$  เป็นฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณของสายอากาศตัวรับและสายอากาศตัวส่งตามลำดับ โดยที่สายอากาศด้านรับนั้นจะใช้วงจรกรองแมตช์ (Matched filter) ในการกรอง  $H_{e-Friis}(f)$  และถูกนำมาหาค่าสูงสุดของสัญญาณเอาต์พุตทางด้านรับ ดังสมการที่ (3.19)

$$H_{MF}(f) = \frac{\sqrt{2fb}H_{e-Friis}^*(f)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H_{e-Friis}^*(f)|^2 df}} \quad (3.19)$$

และสำหรับสมการไอโซทรอปิก

$$H_{MF, Iso}(f) = \frac{\sqrt{2fb}H_{e-Friis, Iso}^*(f)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H_{e-Friis, Iso}^*(f)|^2 df}} \quad (3.20)$$

ซึ่งจากสมการจะได้ค่ากำลังของสัญญาณรบกวนที่มีค่าคงที่ ดังสมการดังนี้

$$\int_{-\infty}^{\infty} |H_{MF}(f)|^2 df = 2fb \quad (3.21)$$

โดยในกรณีนี้สัญญาณเอาต์พุต  $E_i$  และสเปกตรัมทางด้านรับจะมีค่าเป็น  $h_{e-Friis}(t)$  และ  $H_{e-Friis}(f)$  ตามลำดับ รูปร่างของสัญญาณเอาต์พุตที่ได้มาจากวงจรกรองแมตช์  $v_{MF}(t)$  จะเป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ  $v_{MF}(t) = h_{e-Friis}(t) * h_{MF}(t)$  มอนูภาคินำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{\sqrt{2fb}h_{e-Friis}(t) * h_{e-Friis}(-t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} h_{e-Friis}^2(t) dt}} \quad (3.22)$$

และสำหรับกรณีไอโซทรอปิก

$$v_{MF, Iso}(t) = h_{e-Friis}(t) * h_{MF, Iso}(t)$$

$$= \frac{\sqrt{2fb} h_{e-Friis, Iso}(t) * h_{e-Friis, Iso}(-t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} h_{e-Friis, Iso}^2(t) dt}} \tag{3.23}$$

สำหรับสเปกตรัมของเอาต์พุตที่มาจากวงจรกรองแมตช์  $V_{MF}(f)$

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

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

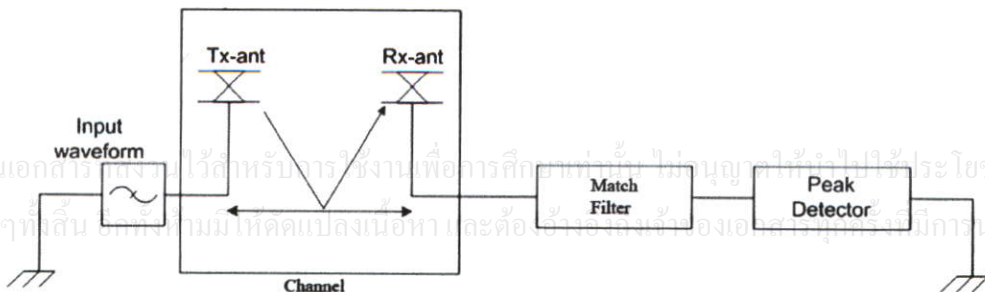
ค่าสูงสุดของสัญญาณจะได้เป็น

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

$$= \sqrt{2fb} \int_{-\infty}^{\infty} |H_{e-Friis}(f)|^2 df \tag{3.25}$$

### 3.7 ทฤษฎีของวงจรกรองแมตช์ (Matched filter)

สัญญาณทางด้านการรับได้มีการนำเอาวงจรกรองแมตช์มาใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณที่รับได้หรืออัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน เมื่อพิจารณาจากบล็อกไดอะแกรม วงจรกรองแมตช์ จะอยู่หลังจากสายอากาศด้านการรับ ในการกรองความถี่  $H_{Friis}(f)$  สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.26) [18]



รูปที่ 3.6 บล็อกไดอะแกรมของวงจรกรองแมตช์ของการส่งสัญญาณ

$$H_{MF}(f) = \frac{H^*_{e-Friis}(f)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H^*_{e-Friis}(f)|^2 df}} \quad (3.26)$$

ซึ่งจากสมการข้างบนค่ากำลังของสัญญาณรบกวนที่ได้จะมีค่าคงที่ ดังสมการที่ (3.27)

$$\int_{-\infty}^{\infty} |H_{MF}(f)|^2 df = 1 \quad (3.27)$$

โดยในกรณีนี้รูปร่างของสัญญาณเอาต์พุต  $E_i$  และสเปกตรัมทางด้านรับจะเป็น  $h_{e-Friis}(t)$  และ  $H_{e-Friis}(f)$  ตามลำดับ รูปร่างของสัญญาณเอาต์พุตที่ได้มาจากวงจรกรองแมตซ์  $v_{MF}(t)$  หาได้จากสมการที่ (3.28)

$$\begin{aligned} v_{MF}(t) &= h_{e-Friis}(t) * h_{MF}(t) \\ &= \frac{h_{e-Friis}(t) * h_{e-Friis}(-t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} h_{e-Friis}^2(t) dt}} \end{aligned} \quad (3.28)$$

สำหรับสเปกตรัมของเอาต์พุตที่มาจากวงจรกรองแมตซ์  $V_{MF}(f)$

$$\begin{aligned} V_{MF}(f) &= H_{e-Friis}(f) H_{MF}(f) \\ &= \frac{H_{e-Friis}(f)^2}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H^*_{e-Friis}(f)|^2 df}} \end{aligned} \quad (3.29)$$

ค่าสูงสุดของสัญญาณจะได้เป็น

$$\begin{aligned} \max v_{MF}(t) &= \int_{-\infty}^{\infty} V_{MF}(f) df \\ &= \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H^*_{e-Friis}(f)|^2 df} \end{aligned} \quad (3.30)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**3.8 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์**  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการพิจารณาถึงการแทรกสอดของสัญญาณที่มาจากทิศทางตรงและทิศทางสะท้อน  
 นั้นจำเป็นที่จะต้องนำข้อมูลที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์มาทำการวิเคราะห์

ผ่านทางโปรแกรม โดยค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญในการแยกสัญญาณทั้งสองออกจากกันนั้นคือค่าการกระจายทางเวลา ซึ่งเป็นค่าที่บอกว่าสัญญาณแต่ละทิศทางใช้เวลาเดินทางต่างกันเท่าไร ส่วนค่าที่แสดงถึงการแทรกสอดของสัญญาณทั้งสองทิศทางนั้นจะประเมินการเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่ลดลงโดยใช้อัตราความผิดพลาดของบิต, การสูญเสียเชิงวิดิ และความผิดเพี้ยนของรูปคลื่น โดยรายละเอียดของพารามิเตอร์แต่ละค่าจะแสดงได้ดังต่อไปนี้

### 3.8.1 การกระจายทางเวลา

เส้นทางของการแพร่กระจายของสัญญาณระหว่างด้านส่งและด้านรับสัญญาณจะมีได้หลายทิศทาง และสัญญาณในแต่ละทิศทางมักจะมีระยะทางไม่เท่ากัน สัญญาณบางส่วนอาจเดินทางเป็นเส้นตรงระหว่างด้านรับและด้านส่ง สัญญาณส่วนนี้มักจะเดินทางมาถึงด้านรับเร็วกว่าสัญญาณในทิศทางอื่น โดยสัญญาณในทิศทางอื่นจะเกิดการสะท้อนในหลายทิศทางก่อนจะมาถึงด้านรับจึงใช้เวลาการแพร่กระจายที่นานกว่า ซึ่งความล่าช้าของสัญญาณในแต่ละส่วนก่อให้เกิดปัญหาที่เรียกว่า การแผ่ประวิง (Delay spread) ขึ้น นั่นคือสัญญาณแต่ละส่วนใช้เวลาเดินทางไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพิจารณาถึงเวลาที่ถูกลื่อนออกไปของสัญญาณที่เข้ามายังด้านรับ โดยในส่วนของ การกระจายทางเวลา (Time dispersion) นั้น สามารถวิเคราะห์จากพารามิเตอร์ที่เรียกว่า ค่าเฉลี่ยเวลาที่เลื่อนเกินออกไปจากค่าเวลาเดิมหรือค่าเฉลี่ยประวิงเวลา (Mean excess delay :  $\bar{\tau}$ ) และค่าการแผ่ประวิงเวลา (Root mean square delay spread, RMS delay spread :  $\sigma_\tau$ ) ซึ่งถูกนิยามไว้ดังสมการที่ (3.31) [9]

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_{k=1}^n a_k^2 \tau_k}{\sum_{k=1}^n a_k^2} = \frac{\sum_{k=1}^n P(\tau_k) \tau_k}{\sum_{k=1}^n P(\tau_k)} \quad (3.31)$$

โดยที่  $a_k$  คือขนาดของสัญญาณเส้นทางที่  $k$   
 $\tau_k$  คือเวลาประวิงที่เกิดขึ้นของสัญญาณเส้นทางที่  $k$   
 $P(\tau_k)$  คือกำลังงานของสัญญาณเส้นทางที่  $k$

สำหรับค่าการแผ่ประวิงเวลาสามารถเขียนดังสมการที่ (3.32)

$$\sigma_\tau = \sqrt{\tau^2 - (\bar{\tau})^2} \quad (3.32)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\tau^2 = \frac{\sum_{k=1}^n a_k^2 \tau_k^2}{\sum_{k=1}^n a_k^2} = \frac{\sum_{k=1}^n P(\tau_k) \tau_k^2}{\sum_{k=1}^n P(\tau_k)} \quad (3.33)$$

### 3.8.2 อัตราความผิดพลาดของบิต

อัตราความผิดพลาดของบิตนี้ใช้เพื่อเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของสัญญาณแต่ละทิศทางว่าเกิดความผิดพลาดขึ้นมากน้อยเพียงใด โดยสามารถหาได้จากสมการที่ (3.34) ดังนี้

$$BER = Q(\sqrt{2(E_b/N_0)C_c}) \quad (3.34)$$

โดย  $Q(x)$  เป็นฟังก์ชันมาตรฐานซึ่งหาได้จากสมการที่ (3.35) และ  $C_c$  คือ ค่าอัตราส่วนพัทธ์

$$Q(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\pi}} e^{-x^2/2} \quad ; \quad x \geq 0 \quad (3.35)$$

### 3.8.3 การสูญเสียเชิงวิดี

ในระบบการสื่อสารไร้สายนั้นเป้าหมายของการจำลองการแพร่กระจายคลื่น คือ การคาดการณ์ถึงค่าการสูญเสียกำลังงานของสัญญาณ ( $P_L$ ) เนื่องจากการแพร่กระจายผ่านช่องสัญญาณโดยพิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างระดับกำลังงานที่ใช้ส่งและระดับกำลังงานที่รับได้ ซึ่งโดยทั่วไปมักจะแสดงให้อยู่ในหน่วยของเดซิเบล (Decibel) ดังแสดงในสมการที่ (3.36) [13]

$$P_L [dB] = 20 \log \left( \frac{v_t(t)}{v_r(t)} \right) \quad (3.36)$$

โดยที่  $v_t(t)$  คือสัญญาณที่ส่ง และ  $v_r(t)$  คือสัญญาณที่รับได้

โดยในการวิเคราะห์การสูญเสียของกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่ง  $P_{LUWB}$  นั้นจะพิจารณาที่กำลังงานสูงสุดของสัญญาณที่ใช้ส่งและกำลังสูงสุดของสัญญาณที่รับได้ซึ่งเป็นฟังก์ชันของระยะทาง ( $d$ ) โดยมีนิยามเป็นไปตามสมการที่ (3.37)

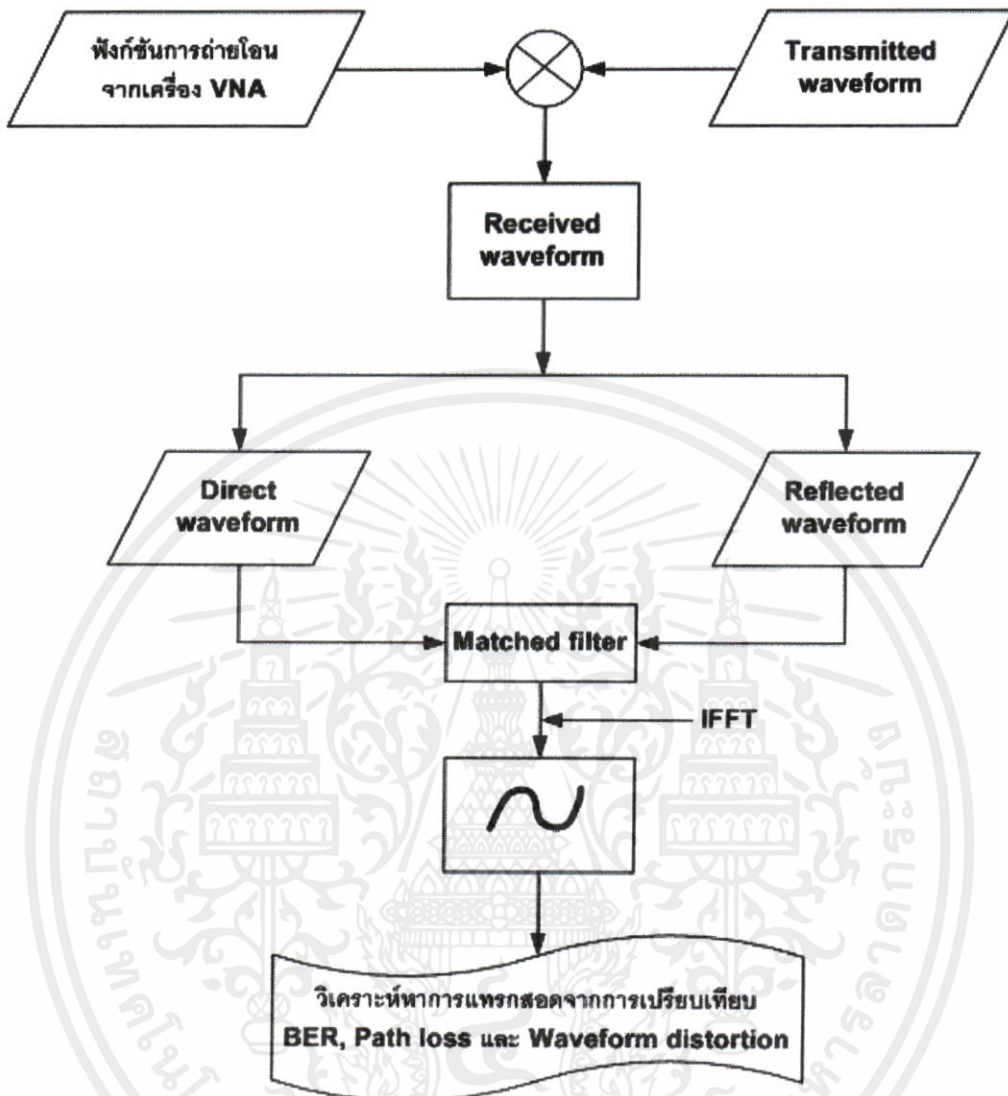
$$P_{LUWB}(d)[dB] = 20 \log \left( \frac{\max |v_t(t)|}{\max |v_r(t, d)|} \right) \quad (3.37)$$

โดยในสมการที่ (3.38) ได้กำหนดให้ขนาดของสัญญาณที่ใช้ส่งมีค่าเท่ากับ 1 ดังนั้นจะได้สมการใหม่เป็น

$$P_{LUWB}(d)[dB] = -20 \log(\max |v_r(t, d)|) \quad (3.38)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.9 บล็อกสำหรับการวิเคราะห์ (Block Analysis)



รูปที่ 3.7 บล็อกสำหรับการวิเคราะห์ (Block Analysis)

### 3.10 สรุป

ในบทนี้ได้อธิบายถึงทฤษฎีพื้นฐานของการแพร่กระจายคลื่นในระบบแถบกว้างยิ่งทั้งในแบบอวกาศว่างและแบบการสะท้อน รวมไปถึงหลักการแพร่กระจายคลื่นจากสายอากาศที่ใช้และหลักการของฟรีส สำหรับทางด้านรับสัญญาณ ได้กล่าวถึงวงจรกรองแอมพลิจูดพร้อมทั้งศึกษาถึงพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้วิเคราะห์การแทรกสอดของแบบจำลองสะท้อนพื้น เช่น อัตราความผิดพลาดของบิตและการสูญเสียเชิงวิถี เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มอบไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอน การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

# ขั้นตอนการจำลองและการวัดสัญญาณ

### 4.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของขั้นตอนในการทดลองซึ่งเป็นการตรวจสอบผลการแทรกสอดของแบบจำลองสะท้อนพื้นในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง โดยได้พิจารณาจากการวัดช่องสัญญาณโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ โดยในวิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาถึงผลกระทบของสัญญาณที่สะท้อนจากพื้นแบบผิวเรียบ, ผิวขรุขระ, และผิวขรุขระมาก ว่ามีลักษณะของการแทรกสอดอย่างไรกับสัญญาณที่มาในทิศทางตรง

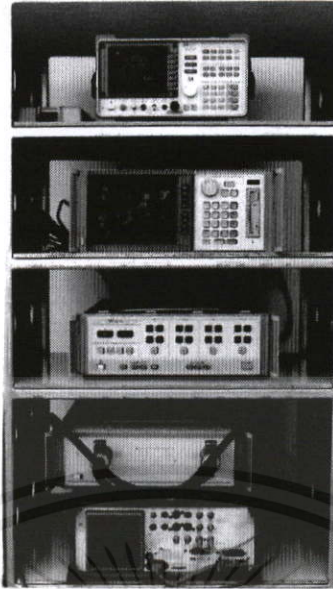
ในการวัดสัญญาณด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ นั้นได้ทำการวัดโดยใช้แบบจำลองที่สร้างขึ้นใหม่ในสภาพแวดล้อมแบบภายในอาคาร ซึ่งการจัดวางสายอากาศในการวัดจะมีการปรับเปลี่ยนความสูงของสายอากาศและเปลี่ยนระยะทางด้วย ส่วนพื้นผิวที่ใช้วัดมี 3 ชนิดตามที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น จากนั้นนำผลที่ได้ในแต่ละกรณีมาทำการวิเคราะห์หาค่าการแทรกสอดผ่านทางพารามิเตอร์ต่างๆ

### 4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในวัดช่องสัญญาณ

#### 4.2.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์

ในการทดลองวัดช่องสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่งครั้งนี้ จะใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์รุ่น HP-8510C ชุดทดสอบพารามิเตอร์การกระจัดกระจาย (S-parameter test set) รุ่น HP-8514B และตัวสังเคราะห์ความถี่ (Frequency synthesized sweeper) รุ่น HP-83620A เป็นอุปกรณ์หลักในการวัด ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งจะถูกรวบรวมด้วยคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อผ่านช่องสื่อสารแบบ GPIB (General purpose interface bus) ซึ่งอุปกรณ์ชนิดนี้จะมีคุณสมบัติที่สามารถตรวจวัดสัญญาณในโครงข่ายหนึ่งพอร์ตและสองพอร์ต ซึ่งในการทดลองนี้จะทำการวัดแบบสองพอร์ต โดยพอร์ตที่หนึ่งคือพอร์ตที่ใช้ต่อกับสายอากาศด้านส่งสัญญาณ (Tx) ส่วนพอร์ตสองจะต่อกับสายอากาศทางด้านรับสัญญาณ (Rx) และวัดใน โดเมนความถี่ จากนั้นผลที่ได้ไปวิเคราะห์ผ่านทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

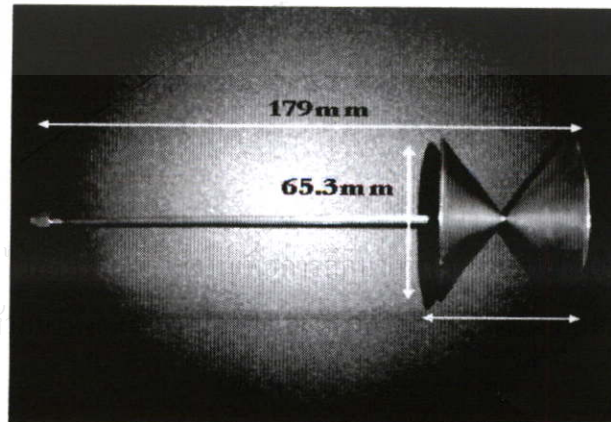


รูปที่ 4.1 เครื่องวิเคราะห์ที่โครงข่ายแบบเวกเตอร์

#### 4.2.2 สายอากาศที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองนี้ได้ใช้สายอากาศที่สามารถส่งสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่งได้ โดยสายอากาศที่เลือกมาใช้คือ สายอากาศกรวยคู่ [10] โดยจะนำสายอากาศชนิดนี้มาใช้เป็นทั้งสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับ ซึ่งในรูปที่ 4.2 ได้แสดงถึงขนาดและมิติของสายอากาศกรวยคู่ โดยสายอากาศกรวยคู่นี้เป็นสายอากาศที่แพร่กระจายคลื่นได้รอบทิศทาง เมื่อจัดวางในแนวตั้ง ส่วนถ้าวางในแนวนอนจะมีการแพร่กระจายแบบทิศทางเดียว ซึ่งในการทดลองนี้จะจัดวางสายอากาศในแนวนอนเพราะต้องวัดช่องสัญญาณที่มีกำลังมากที่สุด เพื่อนำไปแยกสัญญาณที่มาจากสองทิศทางได้ดียิ่งขึ้น

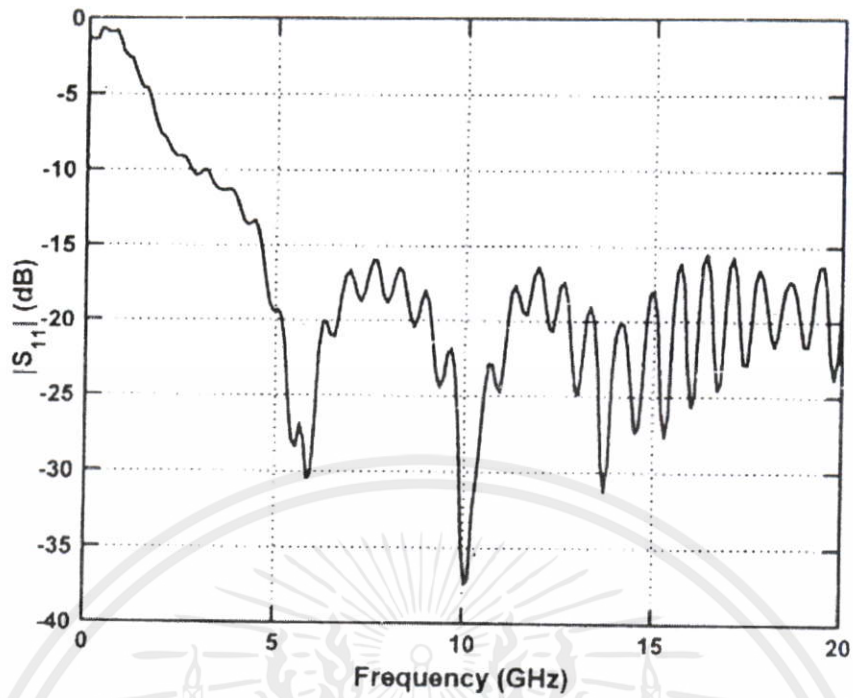
ส่วนค่าประสิทธิภาพการสะท้อน (Reflection coefficient)  $|S_{11}|$  ของสายอากาศจะแสดงในรูปที่ 4.3 โดยจากรูปจะเห็นว่าประสิทธิภาพการสะท้อนนั้นมีค่าต่ำกว่า -10 dB ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ส่วนขนาดและเฟสที่ใช้ในการส่งผ่านของสายอากาศชนิดนี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.4



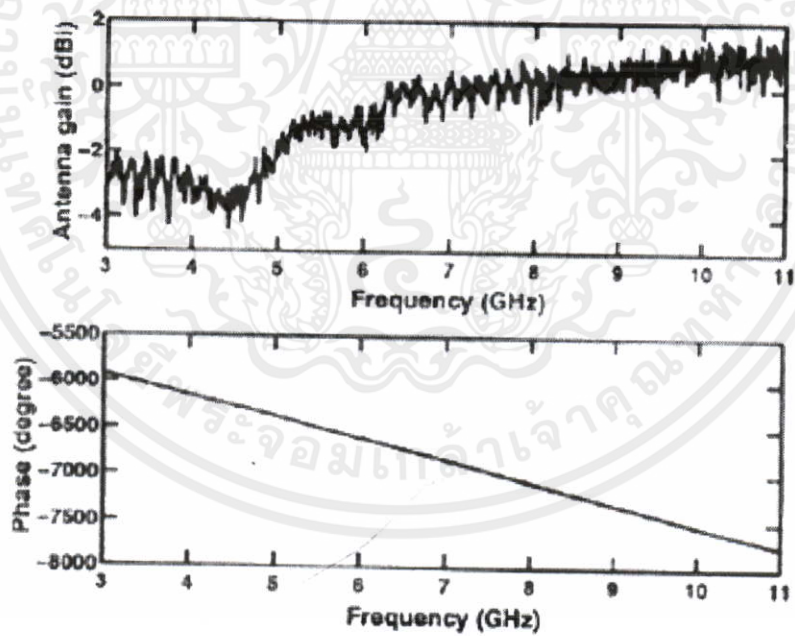
รูปที่ 4.2 โครงสร้างและขนาดของสายอากาศกรวยคู่ (Biconical)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้ง

นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 คุณสมบัติของสายอากาศกรวยคู่



รูปที่ 4.4 ขนาดและเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านของสายอากาศกรวยคู่

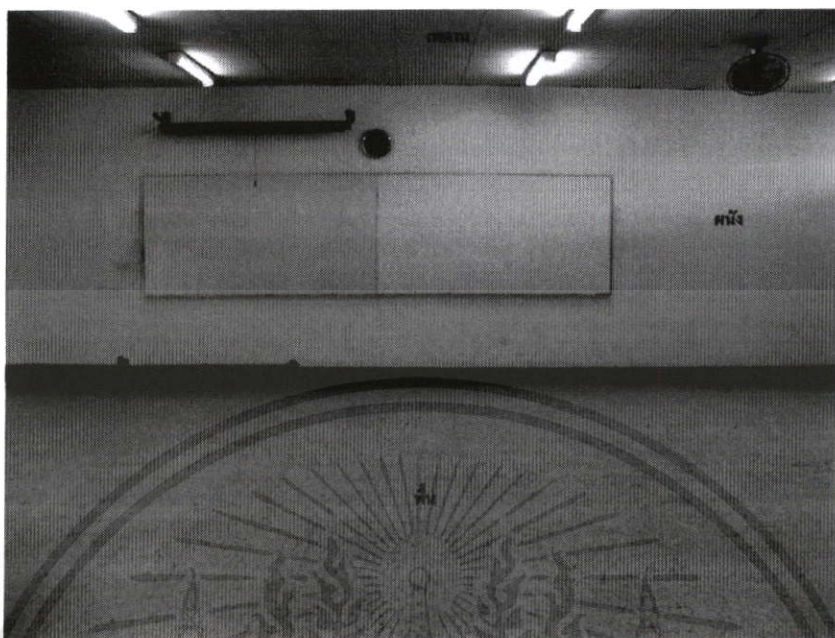
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

#### 4.2.3 ฟันผวที่ใช้ในการทดลอง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ผู้จัดทำคู่มือนี้ให้ข้อมูลโดยเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟันผวที่ใช้ในการทดลองมี 3 ชนิดคือ

1. กรณีพื้นผิวแบบเรียบ - เป็นพื้นแบบหินขัดมีลักษณะที่เรียบมาก ดังแสดงรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 พื้นผิวเรียบ

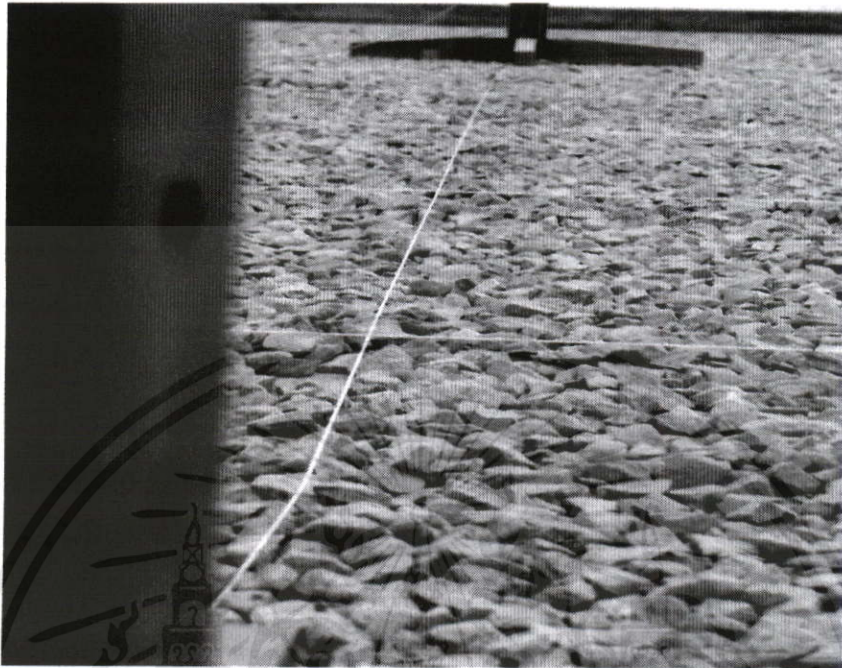
2. กรณีพื้นผิวแบบขรุขระ - ใช้ทรายละเอียดเทเป็นพื้นก่อนนำสายอากาศมาวัด ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 พื้นผิวขรุขระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กรณีพื้นผิวแบบขรุขระมาก – เป็นหินที่ใช้ในงานก่อนสร้างมาแต่เป็นพื้น  
 ดังรูปที่ 4.7

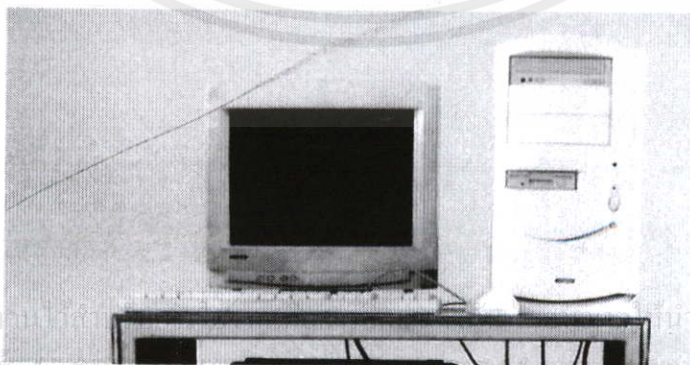


รูปที่ 4.7 พื้นขรุขระมาก

4.2.4 อุปกรณ์ที่ใช้ร่วมในการทดลอง

อุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ร่วมในการทดลอง เพื่อช่วยให้การวัดนั้นเป็นไปตามแบบจำลองที่ได้  
 ออกแบบไว้ โดยมีด้วยกันหลายชนิด ดังนี้

- ⊕ Computer (PC or Notebook) - ใช้เพื่อเป็นตัวบันทึกผลการวัดที่ได้รับได้จากเครื่อง  
 วิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ ซึ่งข้อมูลที่บันทึกได้จะนำไปใช้เป็นข้อมูลคิบน  
 การคำนวณทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่อไป ซึ่งจะมีลักษณะดังรูปที่ 4.8



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ใช้เฉพาะภายในเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงเนือหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

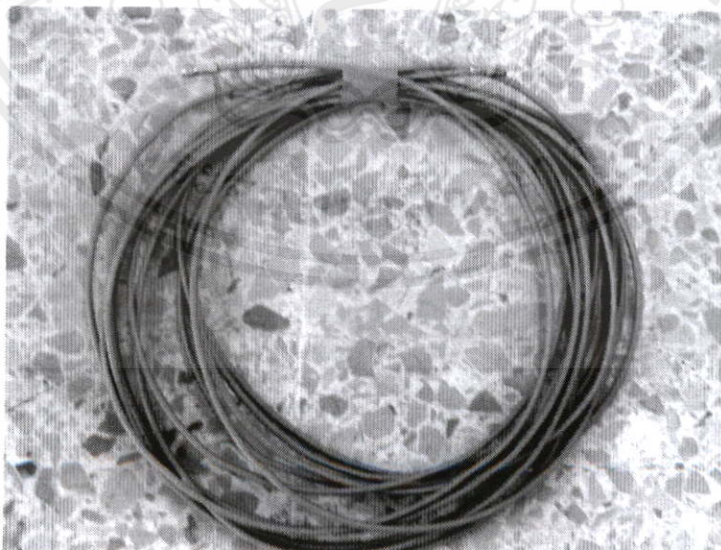
รูปที่ 4.8 Computer (PC or Notebook)

- ✦ อุปกรณ์สำหรับการปรับแต่งสัญญาณ – เป็นอุปกรณ์สำหรับการปรับแต่งสัญญาณระหว่างสายอากาศและเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ โดยจะมีอยู่หลายลักษณะ ขึ้นอยู่กับสายอากาศที่ใช้ ดังรูปที่ 4.9



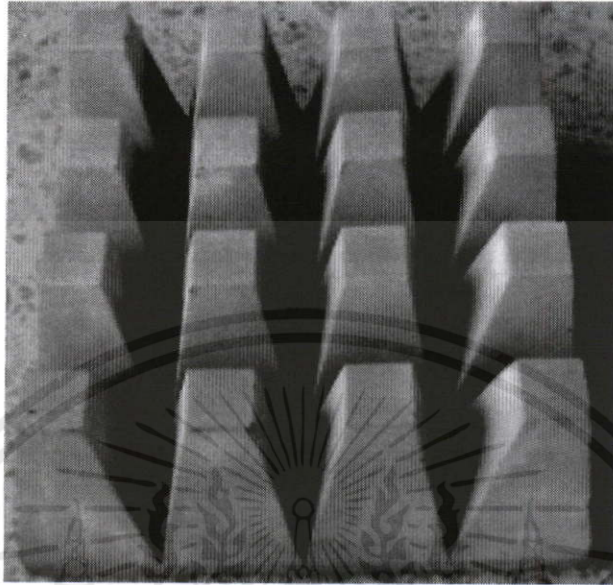
รูปที่ 4.9 อุปกรณ์สำหรับการปรับแต่งสัญญาณ

- ✦ สายโคแอกเซียลที่เชื่อมต่อเข้ากับคอนเนกเตอร์ชนิดที่มีการสูญเสียต่ำ – เป็นสายเคเบิลที่ใช้เชื่อมโยงสัญญาณระหว่างสายอากาศและเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 4.10



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิได้อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งรูปที่ 4.10 สายโคแอกเซียลที่เชื่อมต่อเข้ากับคอนเนกเตอร์ชนิดที่มีการสูญเสียต่ำ นำไปใช้

⊕ แผ่นลดการสะท้อน (Absorber) - เป็นแผ่นซึ่งใช้เพื่อดูดซับสัญญาณที่สะท้อนไปยังตำแหน่งที่ไม่ต้องการ เพื่อให้ได้ค่าที่แม่นยำขึ้น



รูปที่ 4.11 แผ่นลดการสะท้อน (Absorber)

⊕ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองวัด - เป็นขาตั้งที่ใช้ยึดสายอากาศเพื่อให้สามารถปรับความสูงได้ตามต้องการ มีลักษณะดังรูปที่ 4.12

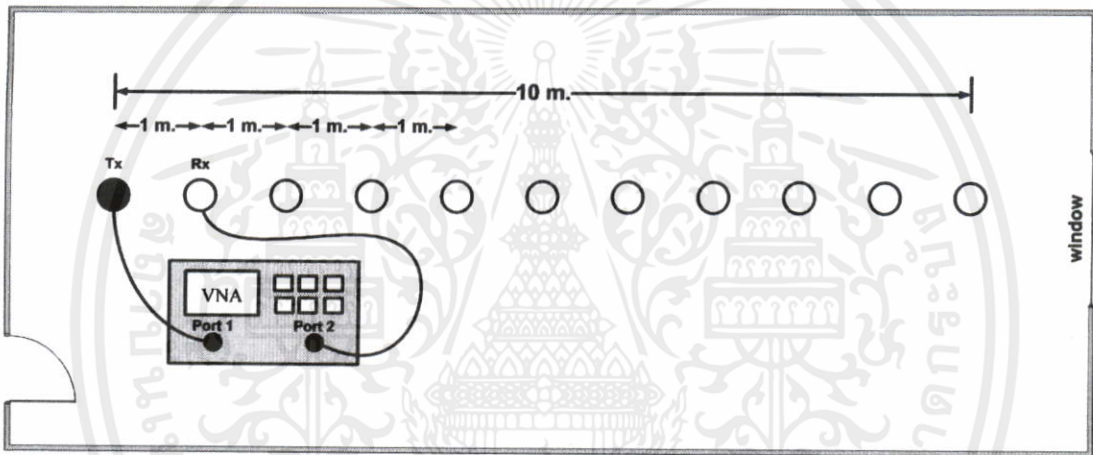


รูปที่ 4.12 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองวัด

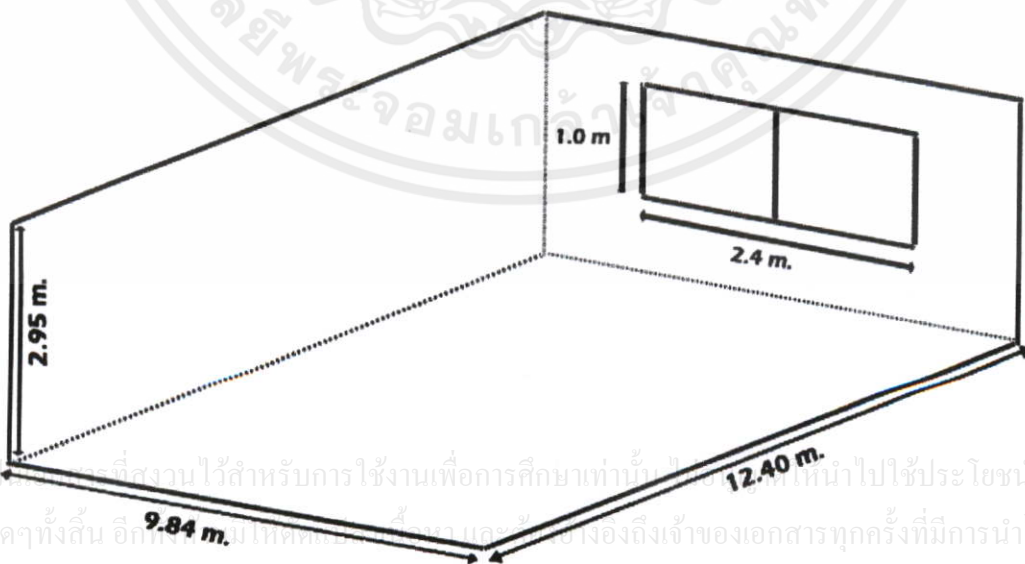
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยซึ่งไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงบนสื่อออนไลน์และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 แบบจำลองที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองได้สร้างแบบจำลองขึ้นมาเพื่อทำการวัดประสิทธิภาพของสัญญาณ โดยใช้แบบจำลองที่สร้างขึ้นเอง ดังรูปที่ 4.13 ซึ่งจะทำการทดลองวัดภายในอาคารที่ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ อาคาร E-12 ชั้น คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยมีขนาดและลักษณะดังรูปที่ 4.14 ส่วนแบบจำลองในการวัดนั้นจะเริ่มจากจัดวางสายอากาศด้านส่งให้คงที่แล้วต่อเข้ากับเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ที่พอร์ต 1 จากนั้นจะวางสายอากาศด้านรับในตำแหน่งที่กำหนดแล้วต่อเข้ากับเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ที่พอร์ต 2 แล้วทำการวัดค่าฟังก์ชันถ่ายโอนของตำแหน่งนี้ แล้วค่อยเปลี่ยนตำแหน่งของสายอากาศด้านรับไปเรื่อยๆ ตามแต่ละกรณีที่ได้กำหนดไว้



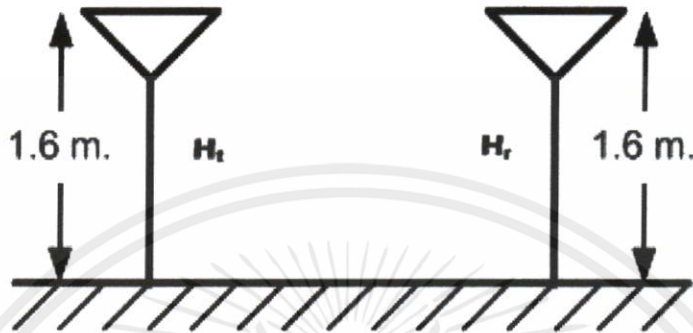
รูปที่ 4.13 แบบจำลองที่ใช้ในการทดลองวัด



รูปที่ 4.14 ลักษณะและขนาดของห้องที่ใช้ในการทดลองวัด

### 4.3.1 การปรับความสูงของสายอากาศ

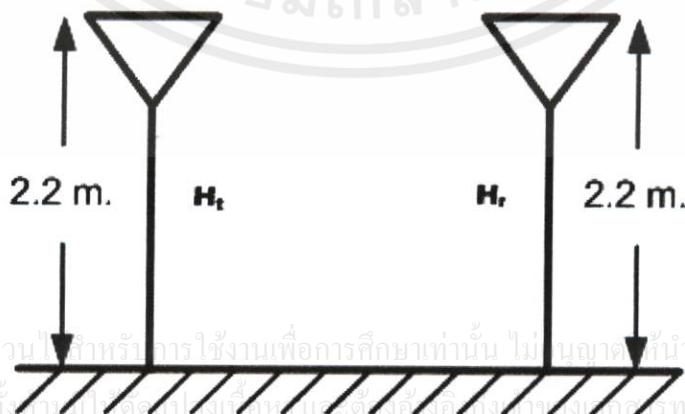
ในการปรับความสูงของสายอากาศของการทดลองนี้มีอยู่หลายลักษณะคือเริ่มจากปรับสายอากาศให้เท่ากันทั้งด้านส่งและด้านรับ โดยความสูงที่ปรับเท่ากันที่ระดับ 1.6 เมตร, 1.9 เมตร, และ 2.2 เมตร ดังรูปที่ 4.15, 4.16 และ 4.17 ตามลำดับ



รูปที่ 4.15 การปรับความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับให้มีความสูงเท่ากันที่ 1.6 เมตร



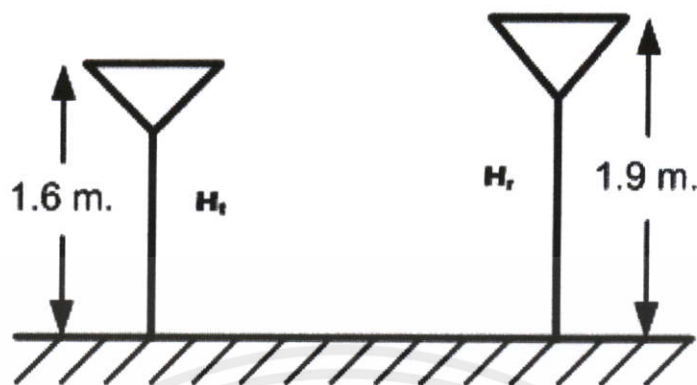
รูปที่ 4.16 การปรับความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับให้มีความสูงเท่ากันที่ 1.9 เมตร



รูปที่ 4.17 การปรับความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับให้มีความสูงเท่ากันที่ 2.2 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงสื่อออนไลน์และสิ่งพิมพ์ใดๆทั้งสิ้นทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

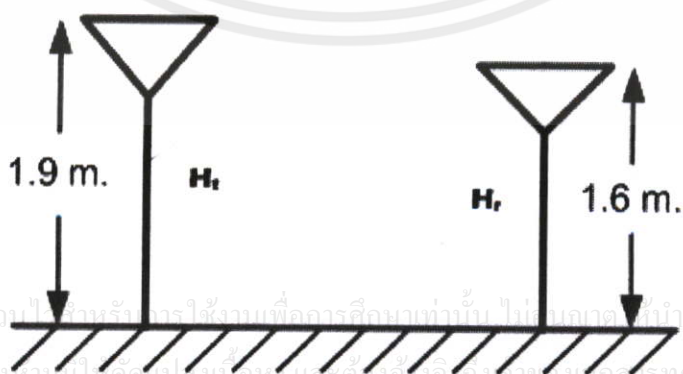
จากนั้นจะเริ่มปรับสายอากาศทางด้านส่งและรับให้มีความสูงไม่เท่ากัน ดังรูปที่ 4.18 - 4.23



รูปที่ 4.18 การปรับความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับให้มีค่า 1.6 เมตร และ 1.9 เมตร ตามลำดับ

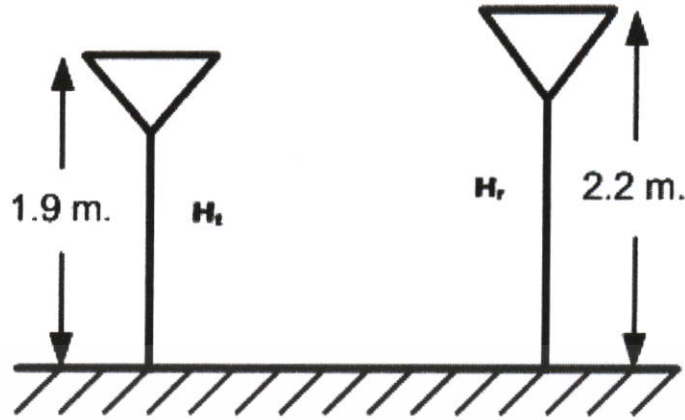


รูปที่ 4.19 การปรับความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับให้มีค่า 1.6 เมตร และ 2.2 เมตร ตามลำดับ



รูปที่ 4.20 การปรับความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับให้มีค่า 1.9 เมตร และ 1.6 เมตร ตามลำดับ

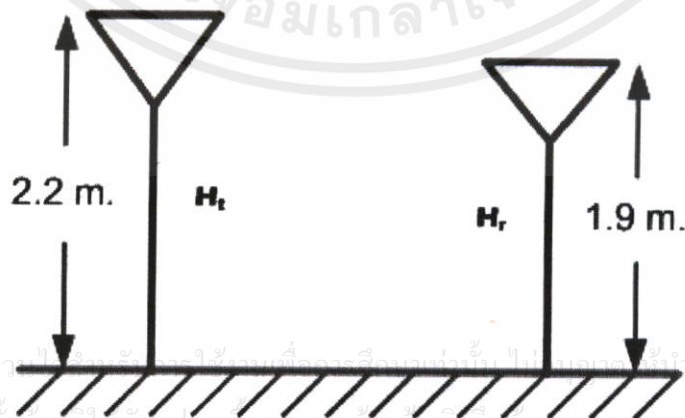
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเพื่ออรรถาธิบายเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเผยแพร่และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 การปรับความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับให้มีค่า 1.9 เมตร และ 2.2 เมตร ตามลำดับ



รูปที่ 4.22 การปรับความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับให้มีค่า 2.2 เมตร และ 1.6 เมตร ตามลำดับ

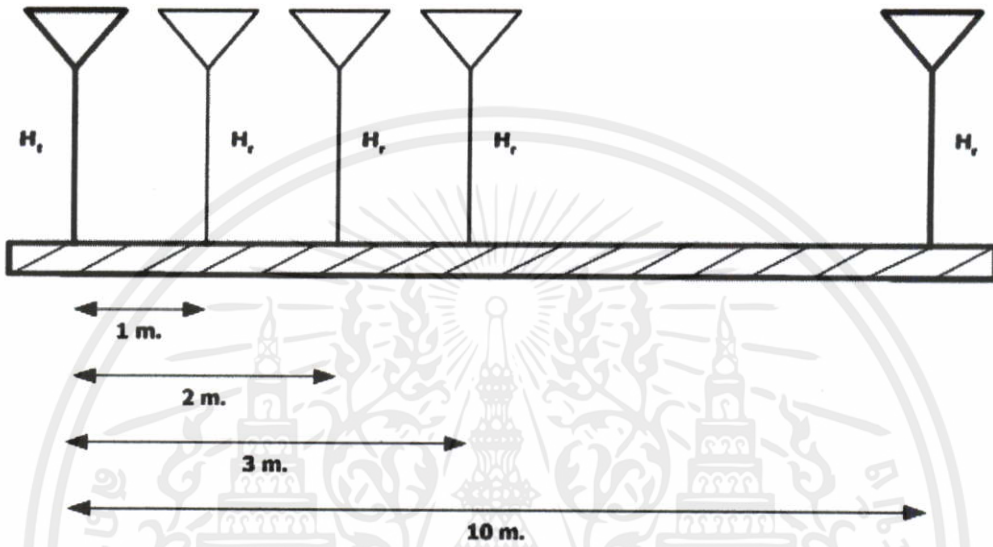


รูปที่ 4.23 การปรับความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับให้มีค่า 2.2 เมตร และ 1.9 เมตร ตามลำดับ

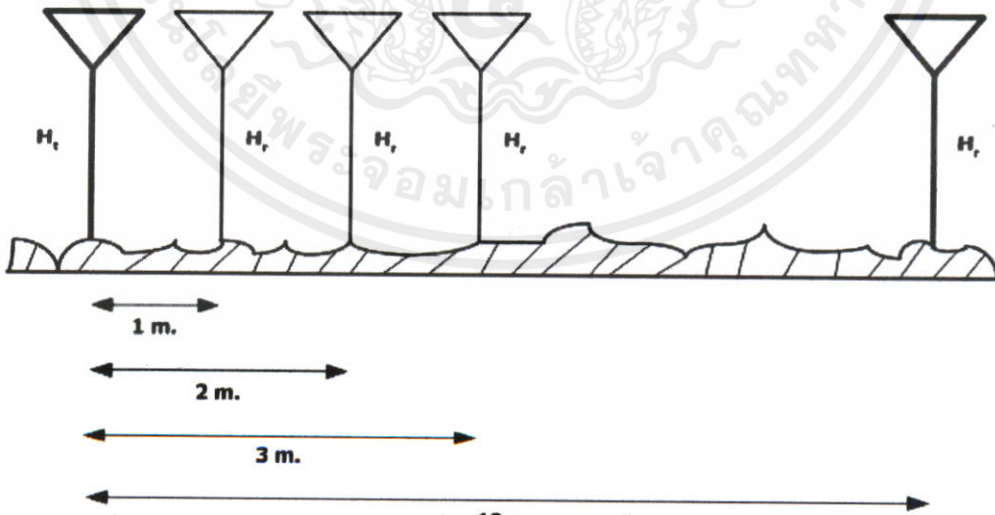
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3.2 การจัดวางสายอากาศบนพื้นแต่ละชนิด

การจัดวางสายอากาศนั้นจะมีการปรับเปลี่ยนระยะทางระหว่างสายอากาศเป็น 10 ระยะด้วยกัน ดังรูปที่ 4.14 โดยเริ่มจากการคงตำแหน่งของสายอากาศด้านส่งให้คงที่ จากนั้นจะทำการเลื่อนตำแหน่งของสายอากาศทางด้านรับออกไปครั้งละ 1 เมตร จนถึง 10 เมตร และทำในลักษณะนี้ทั้ง 3 พื้นผิว คือบนพื้นผิวเรียบดังรูปที่ 4.24 และบนพื้นผิวขรุขระและขรุขระมาก ดังรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.24 การเปลี่ยนระยะทางระหว่างสายอากาศด้านส่งและด้านรับบนพื้นผิวเรียบ โดยเพิ่มขึ้นทีละ 1 เมตร จนถึง 10 เมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.25 การเปลี่ยนระยะทางระหว่างสายอากาศด้านส่งและด้านรับบนพื้นผิวขรุขระและขรุขระมาก

โดยเพิ่มขึ้นทีละ 1 เมตร จนถึง 10 เมตร

#### 4.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองระบบ

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการจำลองระบบ

Parameter	Value
ช่วงความถี่ของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง	3 GHz - 11 GHz
จำนวนของจุดความถี่	801
ความสูงของสายอากาศด้านส่ง	1.6, 1.9, 2.2 เมตร
ความสูงของสายอากาศด้านรับ	1.6, 1.9, 2.2 เมตร
ระยะห่างของสายอากาศ	1 เมตร ถึง 10 เมตร
ค่าความถี่กลาง	6.85 GHz
แบนด์วิธของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง	7.5 GHz

#### 4.5 สัญญาณพัลส์ที่ใช้ในการส่ง

สัญญาณส่งแบบแถบกว้างยิ่งที่ได้พิจารณาในผลการวิจัยที่ได้ดำเนินการไปแล้วนี้เป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม นิพจน์ของสัญญาณนี้ในโดเมนเวลา  $v_i$  และฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัม  $V_i$  คือ [10]

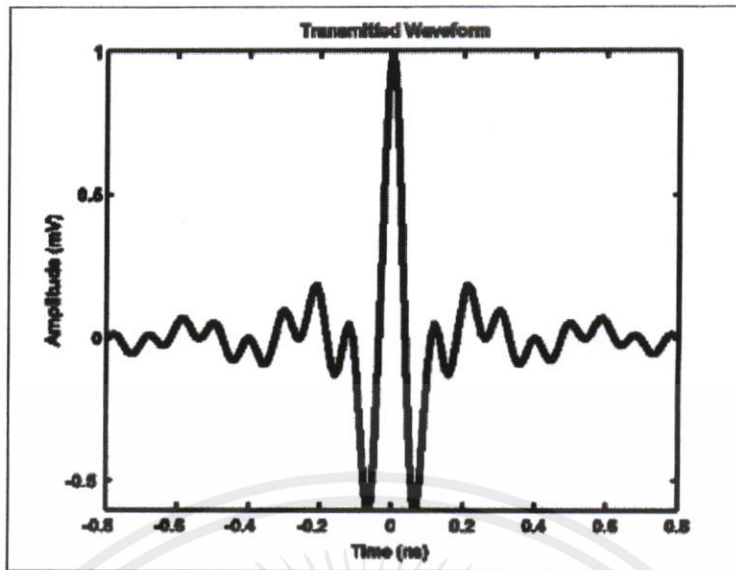
$$v_i(t) = \frac{A}{f_b} [f_H \text{sinc}(2f_H t) - f_L \text{sinc}(2f_L t)] \quad (4.1)$$

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

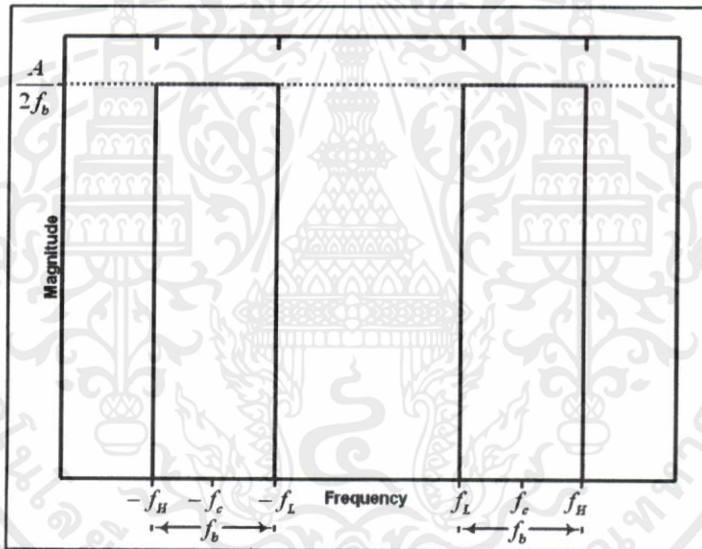
เมื่อ  $t$  เป็นเวลา  $f$  เป็นความถี่  $A$  เป็นแอมพลิจูดสูงสุด  $f_c$  เป็นความถี่กลาง  $f_b$  เป็นแบนด์วิธ  $f_L = f_c - f_b/2$  เป็นความถี่ต่ำสุด  $f_H = f_c + f_b/2$  เป็นความถี่สูงสุด และ  $\text{sinc}(x) = \sin(\pi x)/(\pi x)$  สัญญาณนี้มีแอมพลิจูดสูงสุดเป็น  $A$  V ที่เวลาเท่ากับศูนย์และมีความหนาแน่นสเปกตรัมเป็นค่าจริงคงที่เท่ากับ  $1/(2f_b)$  ในช่วงความถี่ตั้งแต่  $-f_H$  ถึง  $-f_L$  และ  $f_L$  ถึง  $f_H$

เมื่อกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ เรียบร้อยแล้วจะได้รูปพัลส์ที่ใช้ส่งทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ ดังรูปที่ 4.26 และ 4.27 ตามลำดับ

ต้องการนำเอกสารนี้ไปใช้ ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 รูปคลื่นสัญญาณส่งใน โดเมนเวลาของระบบแถบกว้างยิ่ง

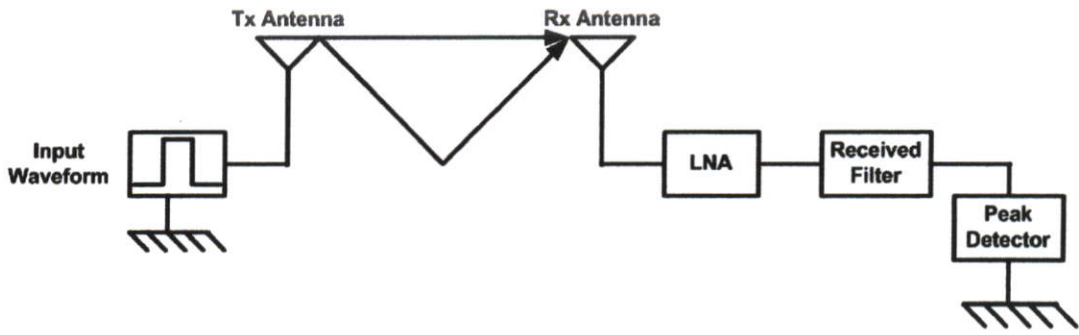


รูปที่ 4.27 สเปกตรัมสัญญาณส่งใน โดเมนความถี่ของระบบแถบกว้างยิ่ง

#### 4.6 การวิเคราะห์สัญญาณ

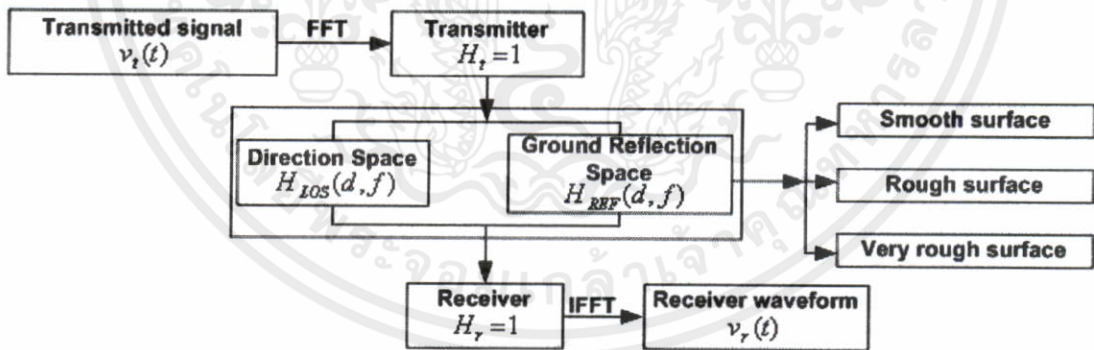
จากวิธีการวัดข้างต้นที่ได้กล่าวมาจะได้ข้อมูลคิบนำไปใช้ในการวิเคราะห์ร่วมกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่อไป โดยในการวิเคราะห์สัญญาณมีกระบวนการตามที่ได้ออกแบบไว้ในบล็อกไดอะแกรม ดังรูปที่ 4.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



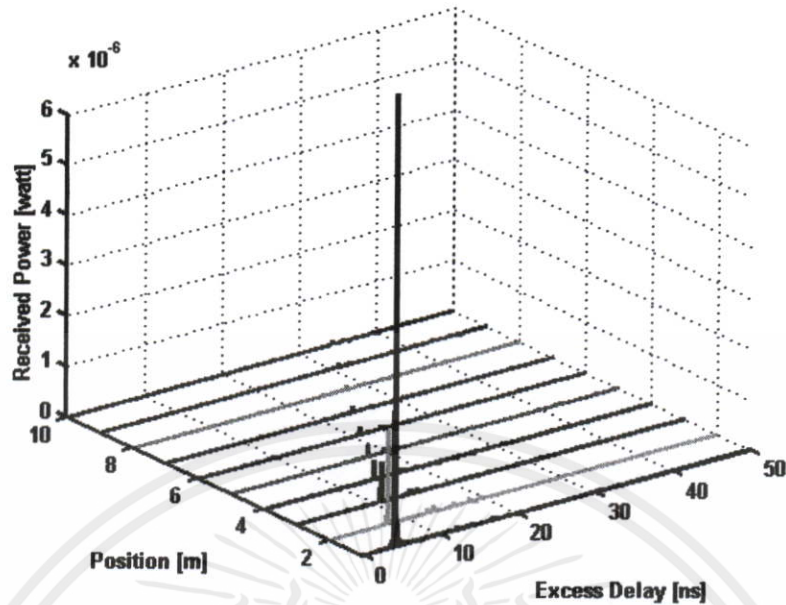
รูปที่ 4.28 บล็อกไดอะแกรมในการวิเคราะห์สัญญาณ

จากข้อมูลดิบที่ได้ในแต่ละกรณีที่มีการปรับเปลี่ยนความสูงของสายอากาศ ซึ่งก็คือค่าฟังก์ชันถ่ายโอนของช่องสัญญาณจะถูกนำมารวมเข้ากับฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมที่ใช้ส่ง  $V_t(f)$  จากสมการที่ 4.2 ผลที่ได้คือฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมที่รับได้  $V_r(f)$  จากนั้นนำ  $V_r(f)$  ไปแปลงฟูเรียร์ผกผัน (Inverse Fourier Transform) ก็จะได้สัญญาณที่รับได้ในโดเมนเวลา  $v_r(t)$  ซึ่งจะอธิบายได้ด้วยไดอะแกรมในรูปที่ 4.29 จากนั้นจะนำ  $v_r(t)$  มาพล็อตเทียบกับเวลาเพื่อให้ทราบถึงช่วงเวลาที่สัญญาณมาแต่ละเส้นทางนั้นมีค่าประวิงเวลาต่างกันเท่าไร เพื่อนำมาเป็นตัวกำหนดที่ใช้ในการเลือกพัลส์ในแต่ละเส้นทาง โดยพัลส์ที่มาถึงก่อนจะเป็นสัญญาณในทิศทางตรงและพัลส์ที่มาในช่วงเวลาต่อมาจะเป็นสัญญาณที่เกิดการสะท้อนพื้น ซึ่งจะมีกระบวนการดังรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.29 กระบวนการสำหรับการวิเคราะห์หาสัญญาณรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 ตัวอย่างของระดับกำลังงานของสัญญาณในแต่ละเส้นทางที่ค่าประวิงเวลาแตกต่างกัน

เมื่อทำการแยกสัญญาณในทุกระยะทางจนครบ 10 เมตรแล้ว ก็จะนำสัญญาณในตำแหน่งต่างๆ มาบวกกันก็จะได้พัลส์ของแต่ละทิศทางครบทั้ง 10 ตำแหน่งทั้งในทิศทางตรงและทิศทางสะท้อน จากนั้นก็จะนำสัญญาณรับของสัญญาณในทิศทางตรงและทิศทางสะท้อนมารวมกันเพื่อให้ได้สัญญาณที่เกิดจากทิศทางตรงและทิศทางสะท้อนซึ่งใช้เป็นสัญญาณที่แสดงว่าเกิดการแทรกสอดขึ้น ซึ่งสัญญาณในแต่ละเส้นทางจะมีลักษณะที่แตกต่างกัน เมื่อได้สัญญาณรับครบทั้งสามแบบแล้วจะนำสัญญาณไปผ่านวงจรกรองแอมป์เพื่อปรับปรุงสัญญาณก่อนที่จะทำการวิเคราะห์เพื่อหาประสิทธิภาพการแทรกสอดของสัญญาณในทิศทางตรงและทิศทางสะท้อนต่อไป

#### 4.7 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงขั้นตอนของการวัดช่องสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่งภายในห้องที่มีพื้นผิวที่มีลักษณะแตกต่างกัน 3 ชนิด โดยใช้สายอากาศกรวยคู่ซึ่งเป็นสายอากาศที่สามารถใช้ส่งสัญญาณในแบบแถบกว้างได้เป็นสายอากาศทั้งด้านส่งและด้านรับสัญญาณในการทดลอง พร้อมทั้งอุปกรณ์เชื่อมต่ออื่นๆ ที่สำคัญในการวัดสัญญาณ รวมไปถึงแบบจำลองที่ได้สร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นตัวกำหนดตำแหน่งของสายอากาศในการวัดและวิธีการปรับความสูงของสายอากาศในกรณีต่างๆ รวมกัน 9 กรณี ส่วนค่าพารามิเตอร์และรูปคลื่นที่ใช้ในการทดลองจะถูกแสดงไว้ข้างต้น สำหรับการวิเคราะห์สัญญาณที่รับได้จากการปรับความสูงของสายอากาศที่มีระดับแตกต่างกันสามารถศึกษาได้จากบล็อกไดอะแกรมและกราฟที่แสดงไว้อย่างเป็นขั้นตอน เพื่อให้ได้สัญญาณรับในแต่ละทิศทางก่อนจะนำไปวิเคราะห์การแทรกสอดที่เกิดขึ้นในแต่ละกรณีในบทต่อไป

## บทที่ 5

# ผลการวัดสัญญาณและการประเมิน

### 5.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวัดช่องสัญญาณภายในห้องที่มีพื้นผิวแตกต่างกันถึง 3 ชนิด คือ ผิวเรียบ, ผิวขรุขระ, และผิวขรุขระมาก ที่ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยการวัดนั้นได้ใช้แบบจำลองดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 ซึ่งใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์เป็นตัววัด สำหรับการแสดงผลผ่านพารามิเตอร์ต่างๆ เป็นการเปรียบเทียบการแทรกสอดที่เกิดขึ้น

### 5.2 ผลการวัดสัญญาณและวิเคราะห์ผล

#### 5.2.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผล

ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลจะนำข้อมูลสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์มาวิเคราะห์มาทำการวิเคราะห์ร่วมกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยการนำฟังก์ชันถ่ายโอนมารวมกับสัญญาณที่ใช้ส่งเพื่อให้ได้สัญญาณรับ จากนั้นนำสัญญาณรับมาทำการแยกสัญญาณ โดยจะแยกเป็นสัญญาณในทิศทางตรงและทิศทางสะท้อน แล้วนำสัญญาณทั้งสองทิศทางมารวมกันเพื่อดูการแทรกสอดระหว่างสัญญาณจากสองทิศทาง โดยผ่านทาง การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้

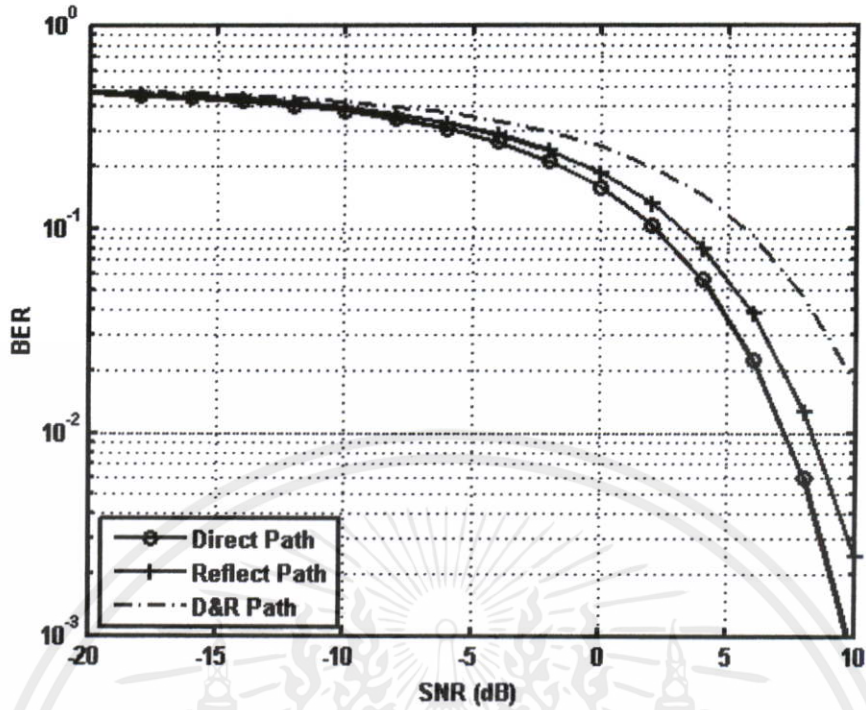
#### 5.2.2 ผลการวัดผ่านพารามิเตอร์ต่างๆ

##### 5.2.2.1 อัตราความผิดพลาดของบิต

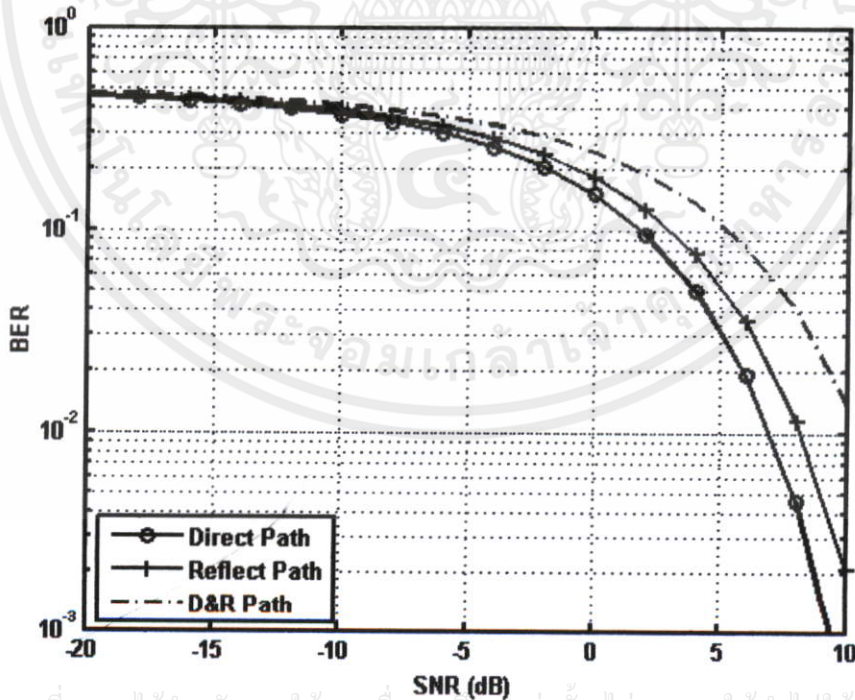
การแสดงผลจะแบ่งออกตามการปรับสายอากาศและประเภทของพื้นผิว ซึ่งในแต่ละกรณีจะมีการแทรกสอดที่แตกต่างกัน ดังนี้

✦ อัตราความผิดพลาดของบิตเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีความสูงเท่ากันที่ 1.6 เมตรและสะท้อนไปบนพื้นผิวต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



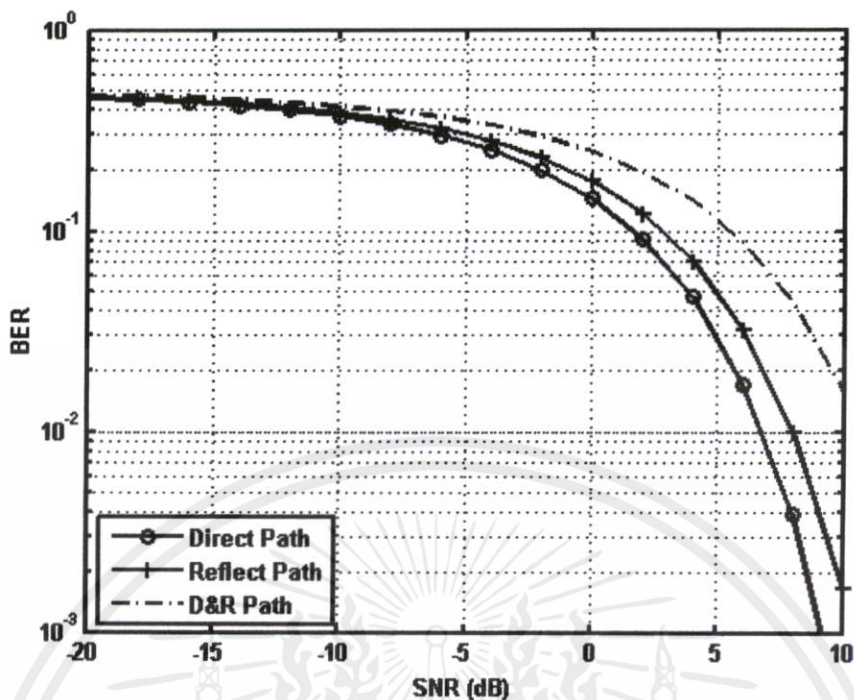
รูปที่ 5.1 อัตราความผิดพลาดของบิตบนพื้นผิวเรียบเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและ  
ด้านรับมีความสูงเท่ากันที่ 1.6 เมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

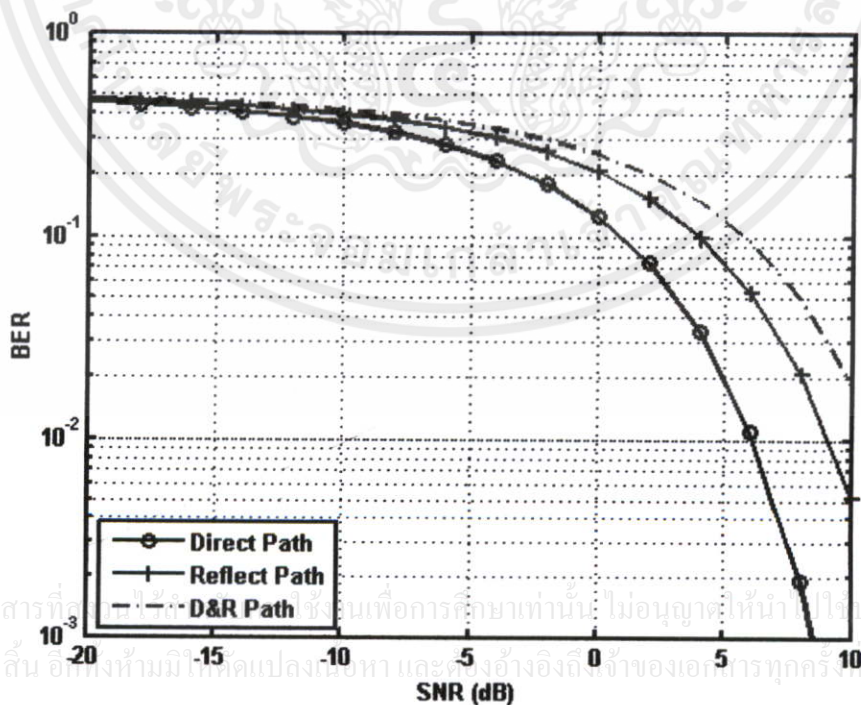
ไม่ว่ากรณีใด

รูปที่ 5.2 อัตราความผิดพลาดของบิตบนพื้นผิวขรุขระเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและ  
ด้านรับมีความสูงเท่ากันที่ 1.6 เมตร



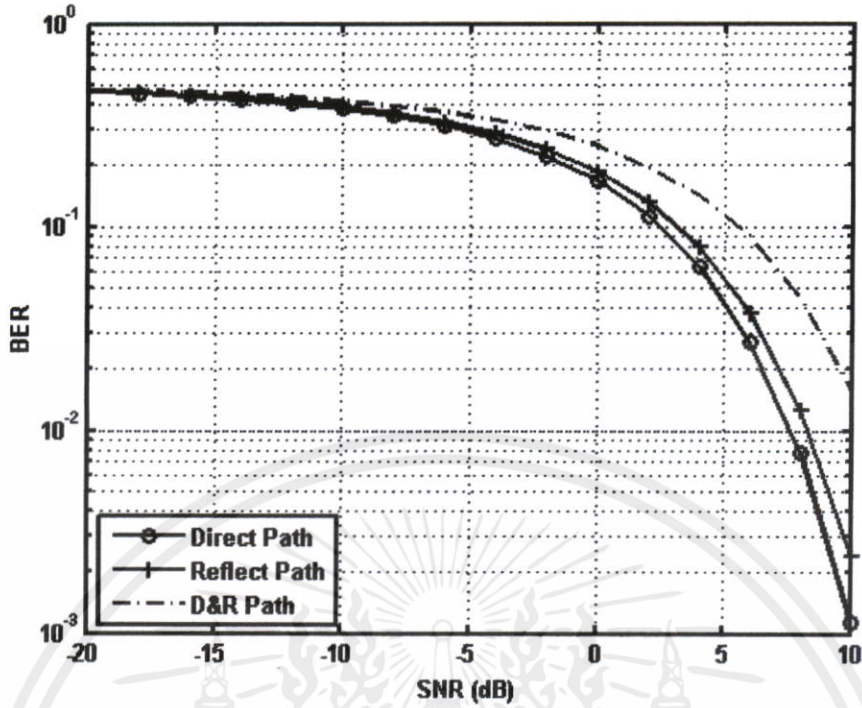
รูปที่ 5.3 อัตราความผิดพลาดของบิตบนพื้นผิวขรุขระมากเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีความสูงเท่ากันที่ 1.6 เมตร

⊕ อัตราความผิดพลาดของบิตเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีความสูงเท่ากันที่ 1.9 เมตรและสะท้อนไปบนพื้นผิวต่างๆ

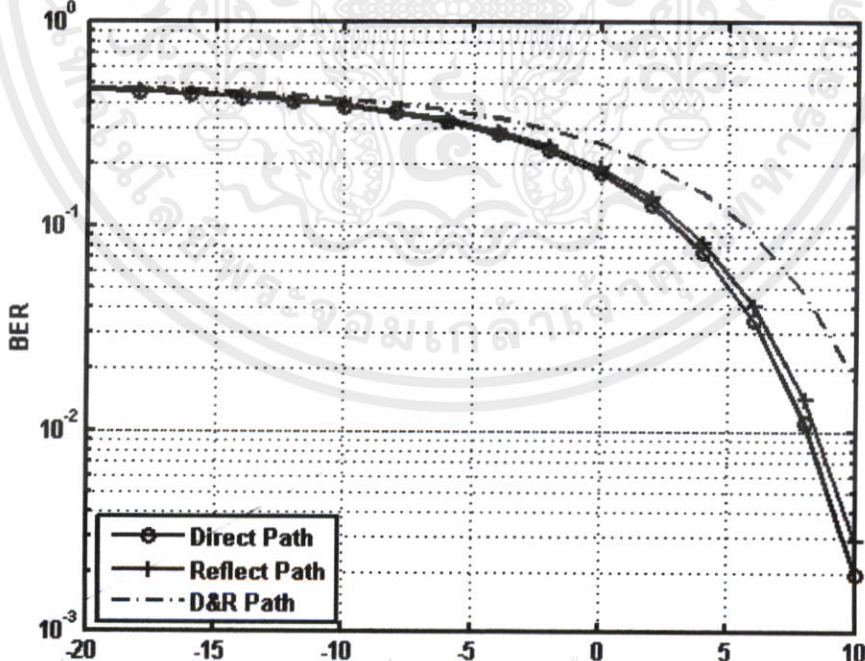


รูปที่ 5.4 อัตราความผิดพลาดของบิตบนพื้นผิวเรียบเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีความสูงเท่ากันที่ 1.9 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และแจ้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 อัตราความผิดพลาดของบิตบนพื้นผิวขรุขระเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีความสูงเท่ากันที่ 1.9 เมตร

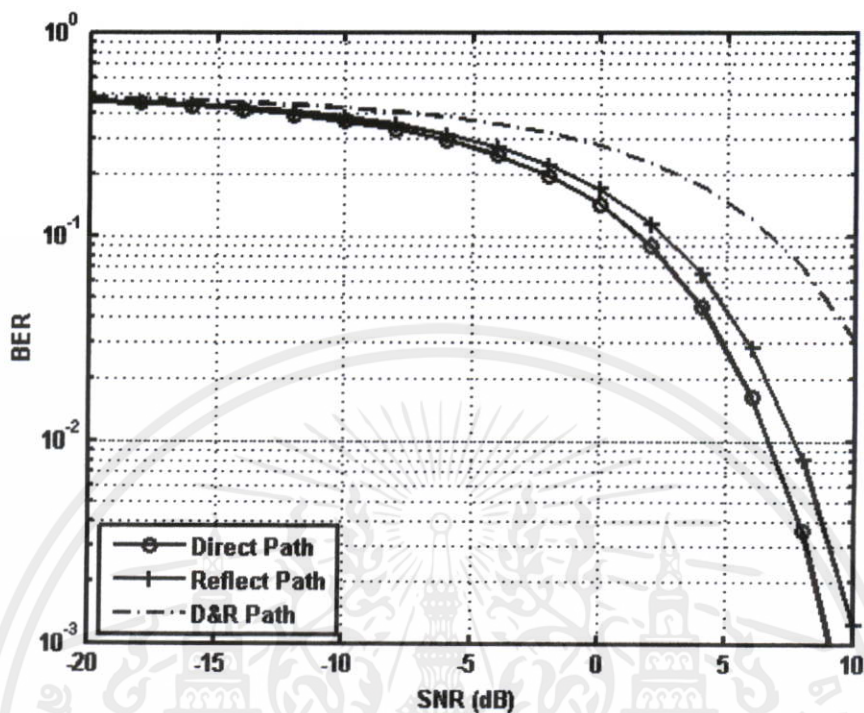


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ SNR (dB) เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

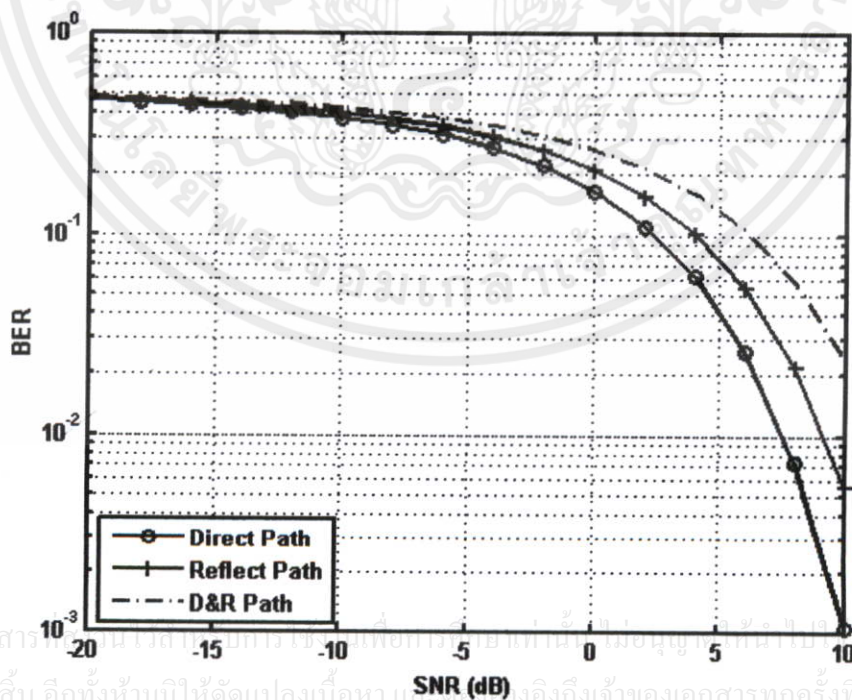
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.6 อัตราความผิดพลาดของบิตบนพื้นผิวขรุขระมากเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีความสูงเท่ากันที่ 1.9 เมตร

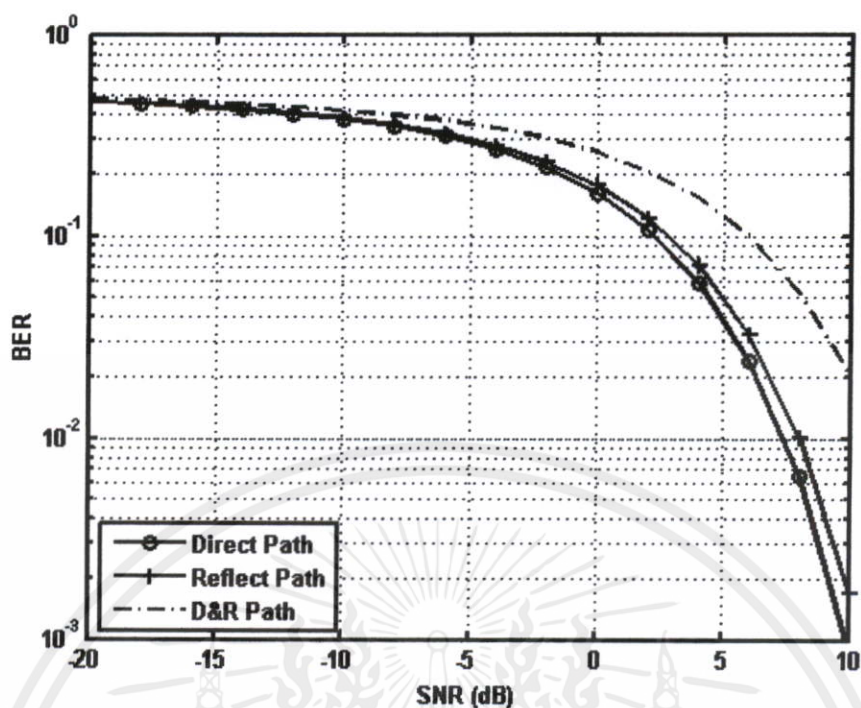
⊕ อัตราความผิดพลาดของบิตเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีความสูงเท่ากันที่ 2.2 เมตรและสะท้อนไปบนพื้นผิวต่างๆ



รูปที่ 5.7 อัตราความผิดพลาดของบิตบนพื้นผิวเรียบเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีความสูงเท่ากันที่ 2.2 เมตร



รูปที่ 5.8 อัตราความผิดพลาดของบิตบนพื้นผิวขรุขระเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่าสูงเท่ากันที่ 2.2 เมตร



รูปที่ 5.9 อัตราความผิดพลาดของบิตบนพื้นผิวขรุขระมากเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่าเท่ากันที่ 2.2 เมตร

การเปรียบเทียบอัตราความผิดพลาดของบิตที่ความสูงของสายอากาศเท่ากับ 1.6 เมตร นั้นพบว่าสัญญาณที่มาในทิศทางตรงมีอัตราความผิดพลาดของบิตที่ต่ำที่สุด รองลงมาคือสัญญาณที่มาจากทิศทางสะท้อน และเมื่อนำสองสัญญาณที่มาจากสองทิศทางรวมกันแล้วพบว่าเกิดอัตราความผิดพลาดของบิตที่เพิ่มขึ้น โดยอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่เท่ากันจะเกิดอัตราความผิดพลาดของบิตที่มากกว่าของสัญญาณที่มาจากสองทิศทาง และเมื่อพิจารณาชนิดของพื้นผิวเพิ่มเติมพบว่าที่อัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนเท่ากันนั้น อัตราความผิดพลาดของบิตของพื้นผิวที่ขรุขระมากจะมีค่าความผิดพลาดที่มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นผิวอื่น ๆ

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า เมื่อความสูงของสายอากาศเท่ากันแล้วนำสัญญาณจากทิศทางตรงและทิศทางสะท้อนมารวมกันแล้วจะทำให้ประสิทธิภาพของสัญญาณลดลงในทุกๆ ตำแหน่งที่ทำการวัด ซึ่งการลดลงของประสิทธิภาพนี้จะทำให้เกิดการแทรกสอดขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการสะท้อนจากพื้นผิวนิดใดก็ตาม และเมื่อเปรียบเทียบการแทรกสอดจากชนิดของพื้นผิวที่แตกต่างกันก็พบว่าเกิดการแทรกสอดของสัญญาณบนพื้นผิวแบบขรุขระมากนั้นมีค่าการแทรกสอดมากที่สุด

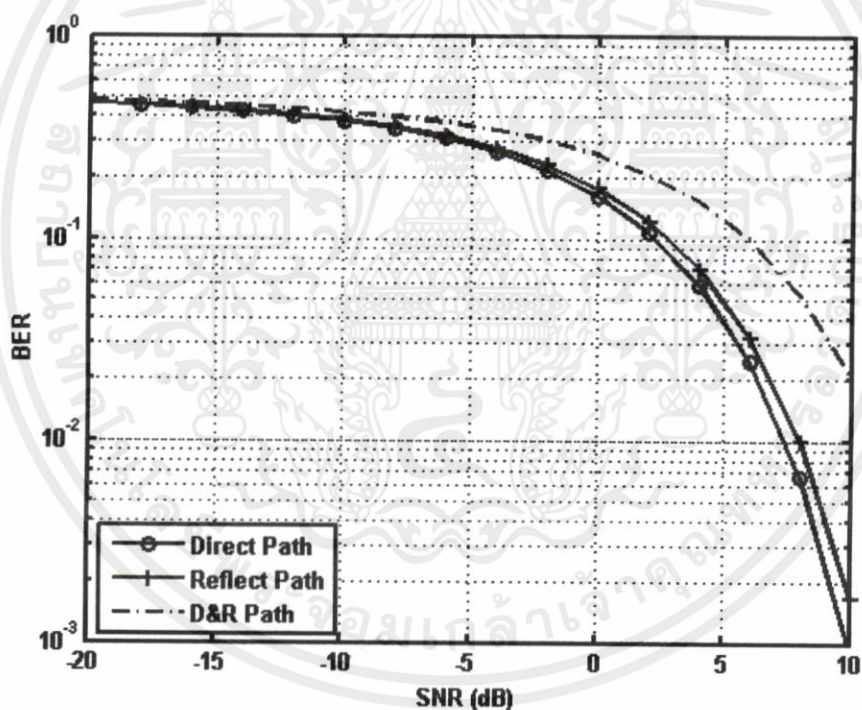
การเปรียบเทียบอัตราความผิดพลาดของบิตที่ความสูงของสายอากาศเท่ากับ 1.9 เมตร นั้นพบว่ามีความไวที่เหมือนกันกับความสูง 1.6 เมตร เพียงแต่ที่อัตราความผิดพลาดของบิตของสัญญาณทิศทางตรงที่มาสสะท้อนบนพื้นผิวเรียบนั้นมีค่าที่ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับอัตราความผิดพลาดของบิตของบนพื้นผิวอื่นๆ หรือเมื่อเทียบกับอัตราความผิดพลาดของบิตของความสูงสายอากาศเท่ากับ 1.6 เมตร ไม่ว่าจะเป็นบนพื้นผิวใดก็ตาม ส่วนสัญญาณที่มาจากทิศทางสะท้อน

จะมีค่ารองลงและเมื่อนำสองสัญญาณที่มาจากสองทิศทางรวมกันแล้วพบว่าเกิดอัตราความผิดพลาดของบิตที่เพิ่มขึ้นเหมือนกัน

สรุปได้เช่นเดียวกับกรณีความสูง 1.6 เมตร แต่ในกรณีของอัตราความผิดพลาดของบิตบนพื้นเรียบที่มีค่าต่างจากค่าของทิศทางสะท้อนมากจึงทำให้เกิดการลดลงของประสิทธิภาพของสัญญาณรวมมากขึ้นจึงทำให้เกิดอัตราความผิดพลาดของบิตเพิ่มมากขึ้นและเมื่อเปรียบเทียบการแทรกสอดจากชนิดของพื้นผิวที่แตกต่างกันก็พบว่า เกิดการแทรกสอดของสัญญาณบนพื้นผิวแบบขรุขระมากขึ้นมีค่าการแทรกสอดมากที่สุด เช่นเดียวกัน

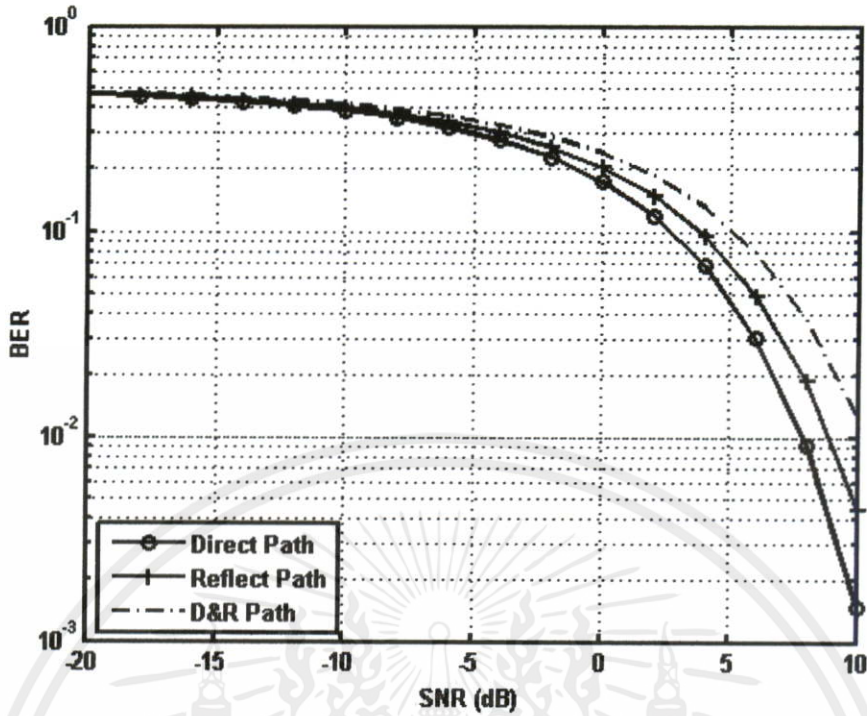
การเปรียบเทียบอัตราความผิดพลาดของบิตที่ความสูงของสายอากาศเท่ากับ 2.2 เมตร มีลักษณะเดียวกันกับที่ความสูง 1.6 เมตร 1.9 เมตร

⊕ อัตราความผิดพลาดของบิตเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 1.6 เมตร และ 1.9 เมตร ตามลำดับ และสะท้อนไปบนพื้นผิวต่างๆ

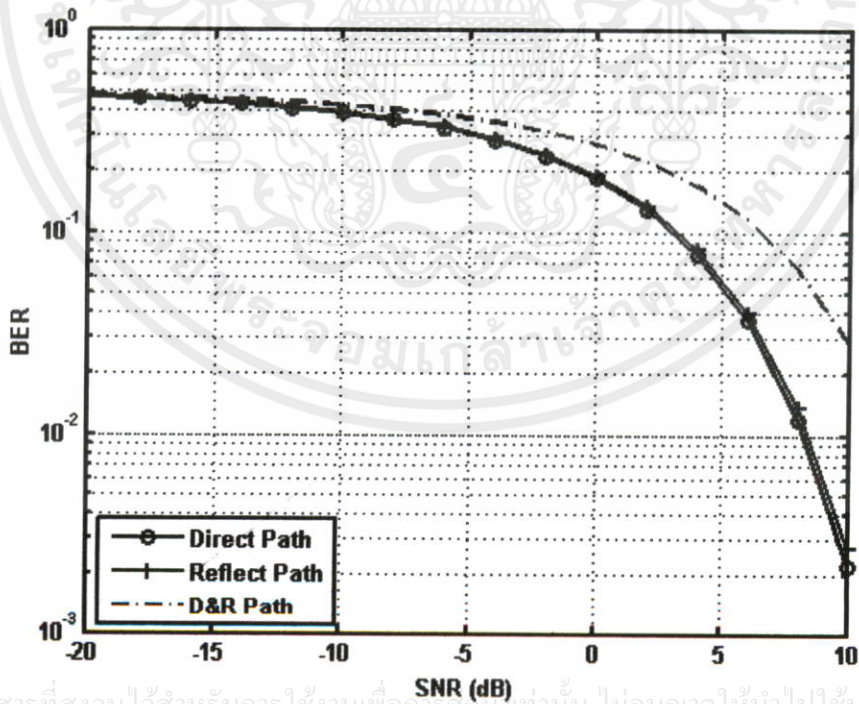


รูปที่ 5.10 อัตราความผิดพลาดของบิตบนพื้นผิวเรียบเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 1.6 เมตรและ 1.9 เมตร ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



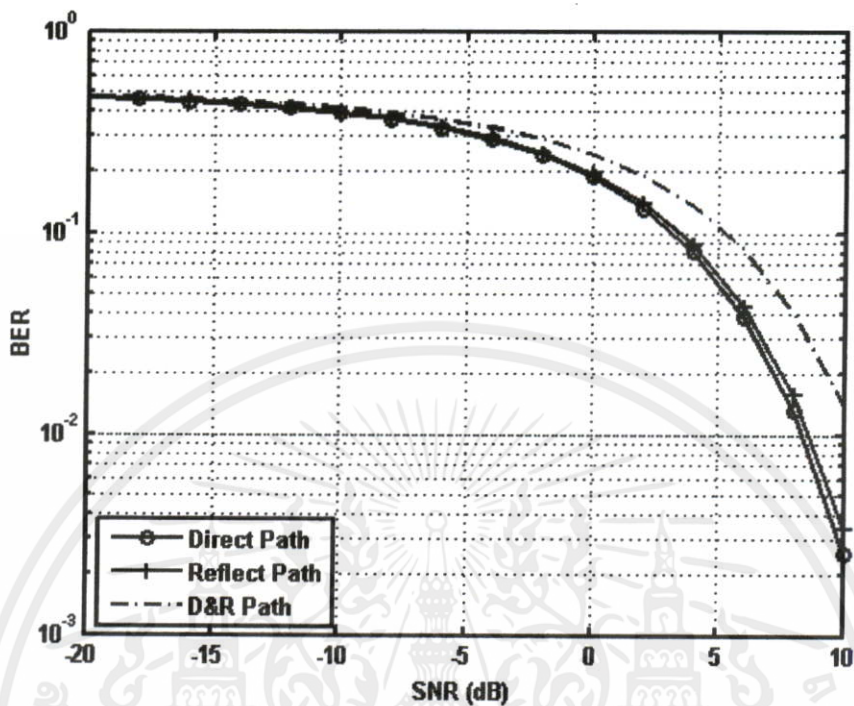
รูปที่ 5.11 อัตราความผิดพลาดของบิตบนพื้นผิวขรุขระเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 1.6 เมตรและ 1.9 เมตร ตามลำดับ



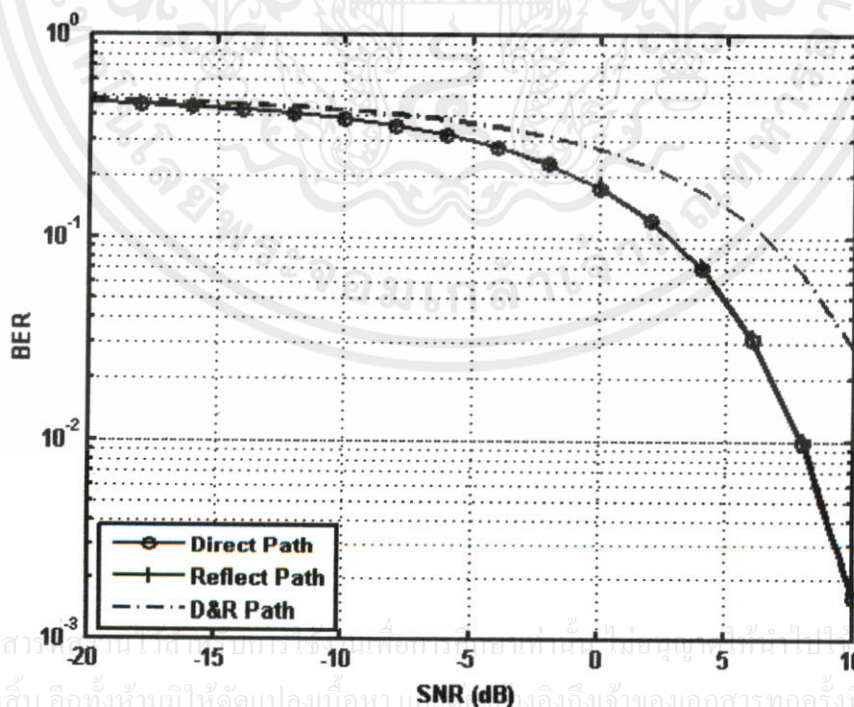
รูปที่ 5.12 อัตราความผิดพลาดของบิตบนพื้นผิวขรุขระมากเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 1.6 เมตรและ 1.9 เมตร ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายบริการลูกค้าของเรา

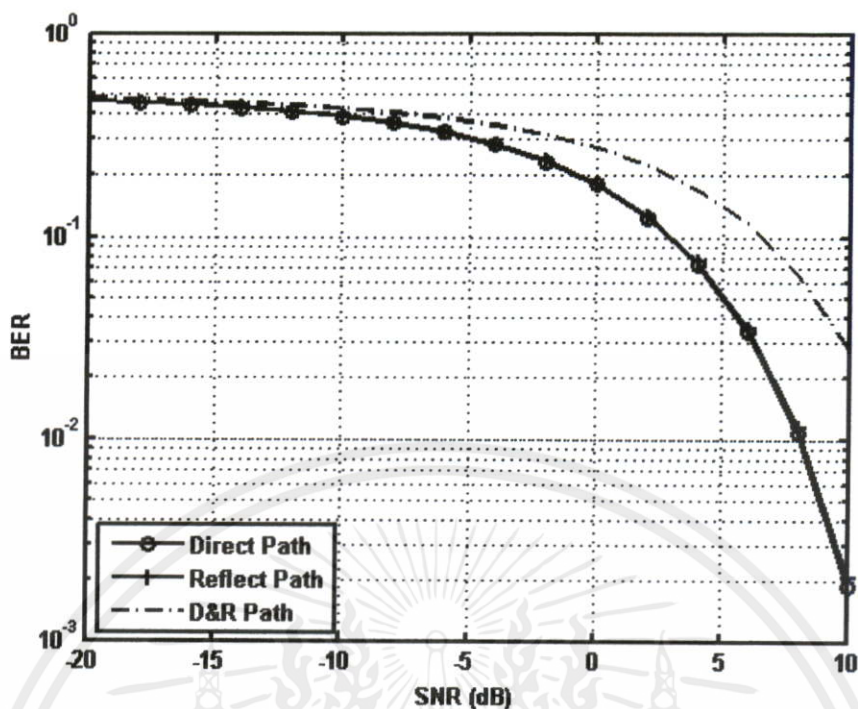
- ⊕ อัตราความผิดพลาดของบิตเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 1.6 เมตร และ 2.2 เมตร ตามลำดับ และสะท้อนไปบนพื้นผิวต่างๆ



รูปที่ 5.13 อัตราความผิดพลาดของบิตบนพื้นผิวเรียบเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 1.6 เมตรและ 2.2 เมตร ตามลำดับ

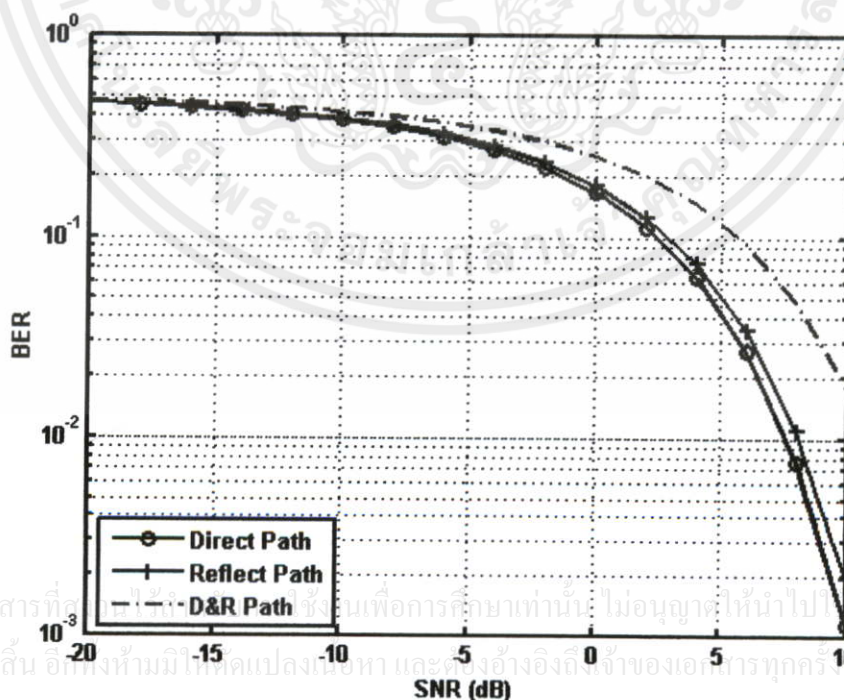


รูปที่ 5.14 อัตราความผิดพลาดของบิตบนพื้นผิวขรุขระเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 1.6 เมตรและ 2.2 เมตร ตามลำดับ



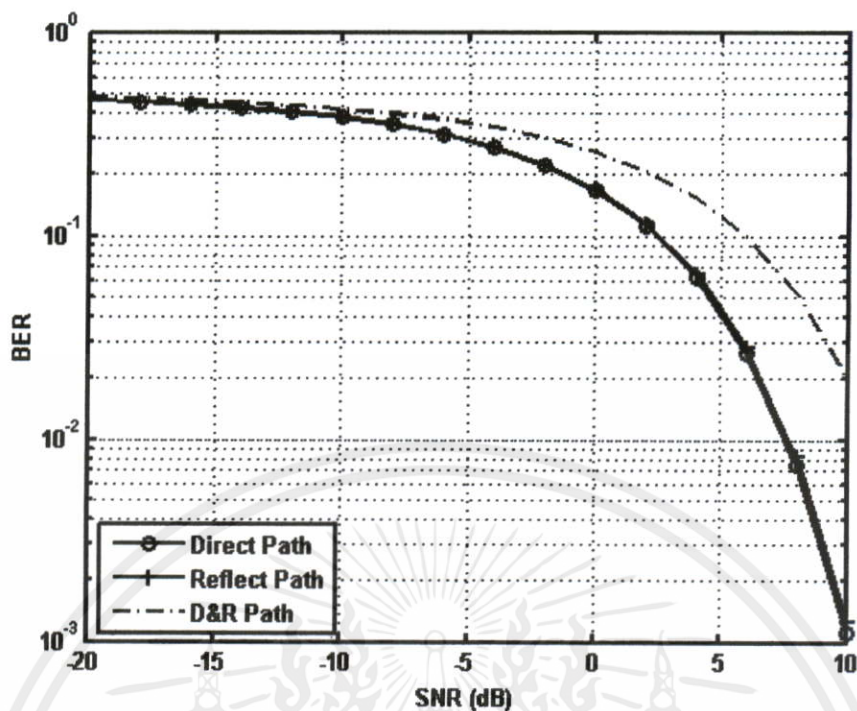
รูปที่ 5.15 อัตราความผิดพลาดของบิตบนพื้นผิวขรุขระมากเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 1.6 เมตรและ 2.2 เมตร ตามลำดับ

⊕ อัตราความผิดพลาดของบิตเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 1.9 เมตรและ 1.6 เมตร ตามลำดับ และสะท้อนไปบนพื้นผิวต่างๆ

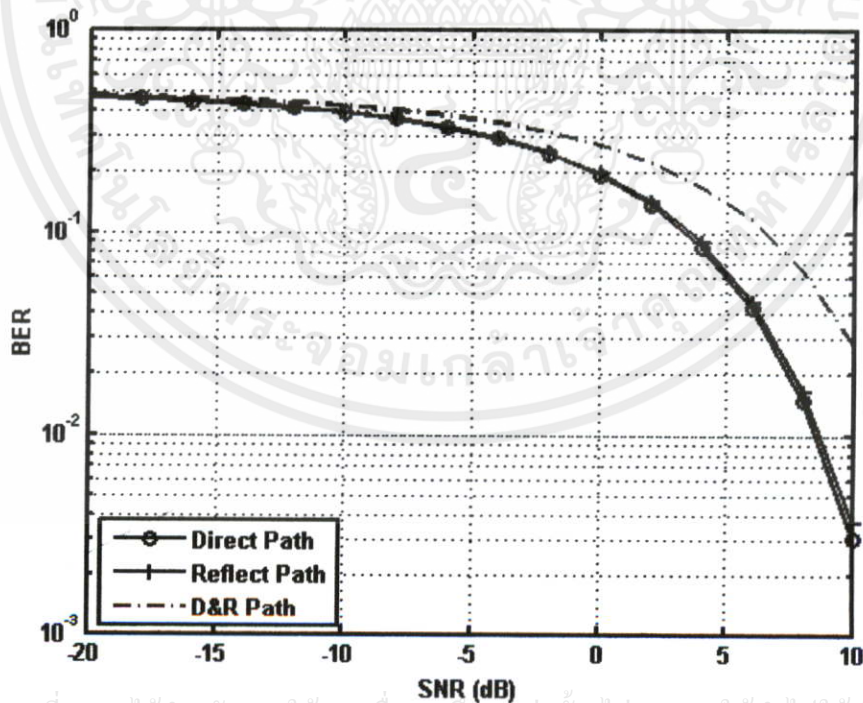


รูปที่ 5.16 อัตราความผิดพลาดของบิตบนพื้นผิวเรียบเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 1.9 เมตรและ 1.6 เมตร ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ผู้จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และส่งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



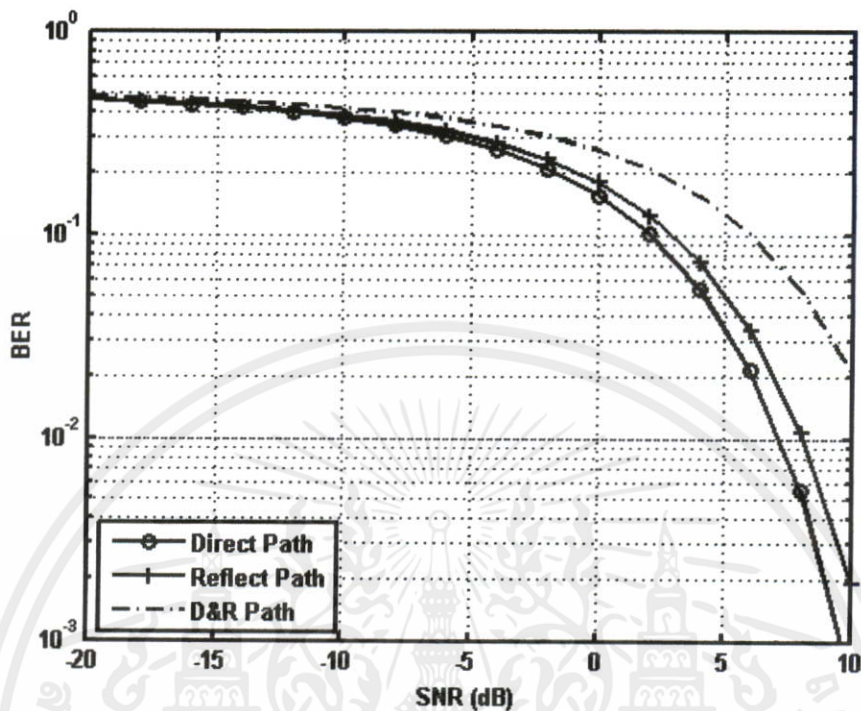
รูปที่ 5.17 อัตราความผิดพลาดของบิตบนพื้นผิวขรุขระเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 1.9 เมตรและ 1.6 เมตร ตามลำดับ



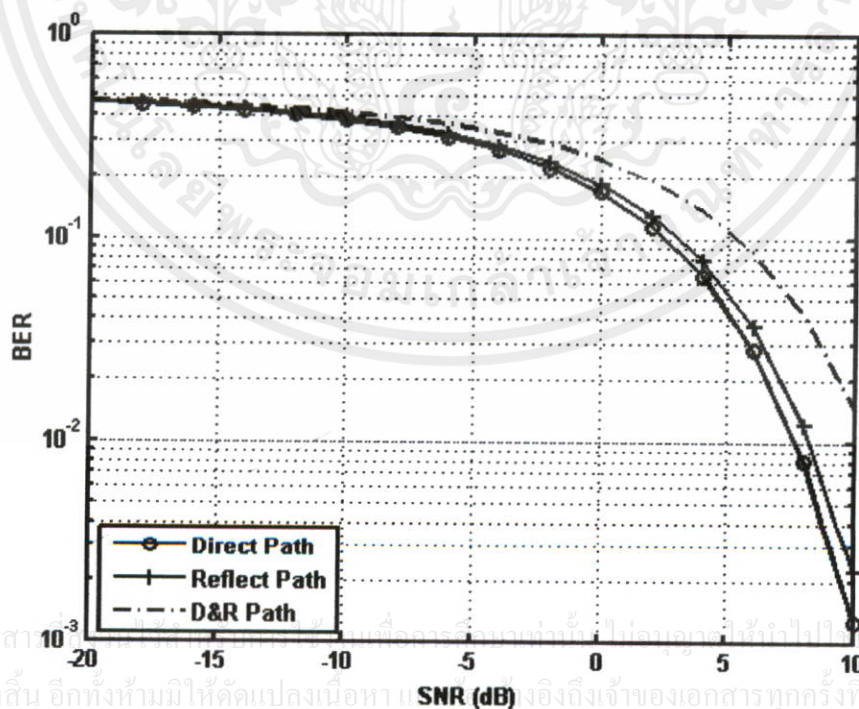
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณี **รูปที่ 5.18** อัตราความผิดพลาดของบิตบนพื้นผิวขรุขระมากเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่ง

และด้านรับมีค่า 1.9 เมตรและ 1.6 เมตร ตามลำดับ

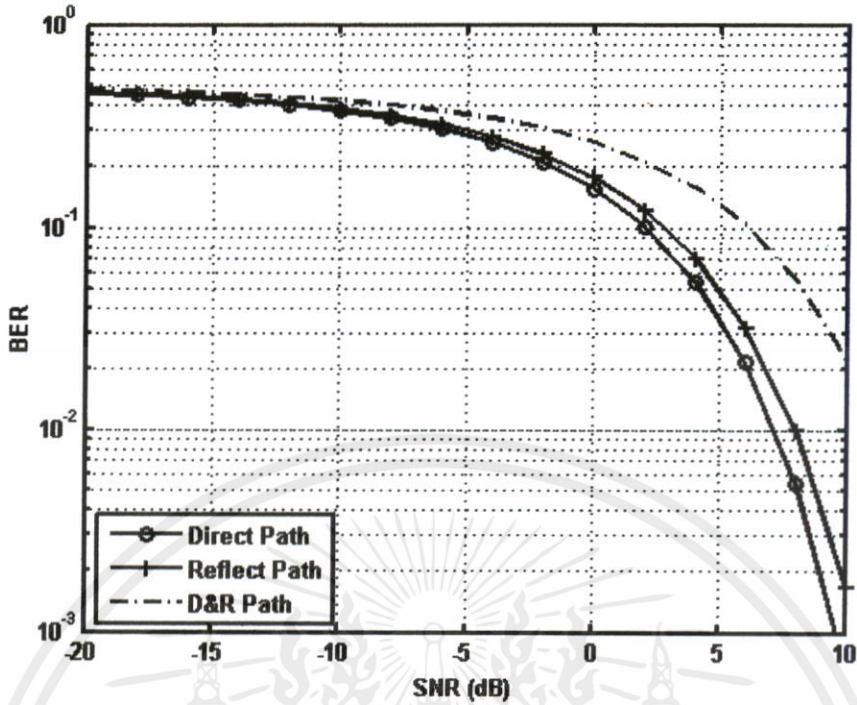
⊕ อัตราความผิดพลาดของบิตเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 1.9 เมตร และ 2.2 เมตร ตามลำดับ และสะท้อนไปบนพื้นผิวต่างๆ



รูปที่ 5.19 อัตราความผิดพลาดของบิตบนพื้นผิวเรียบเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 1.9 เมตรและ 2.2 เมตร ตามลำดับ

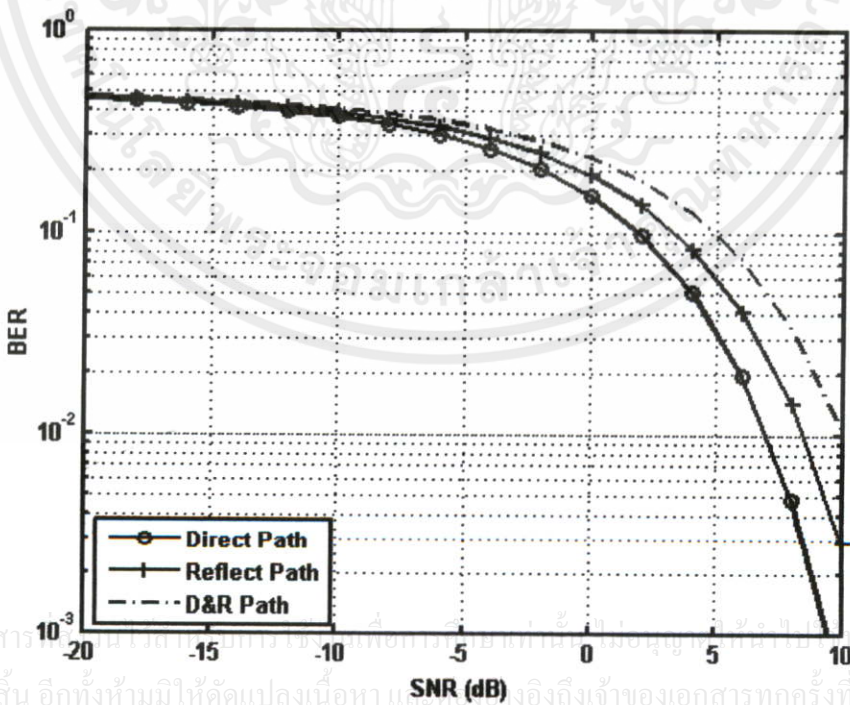


รูปที่ 5.20 อัตราความผิดพลาดของบิตบนพื้นผิวขรุขระเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 1.9 เมตรและ 2.2 เมตร ตามลำดับ

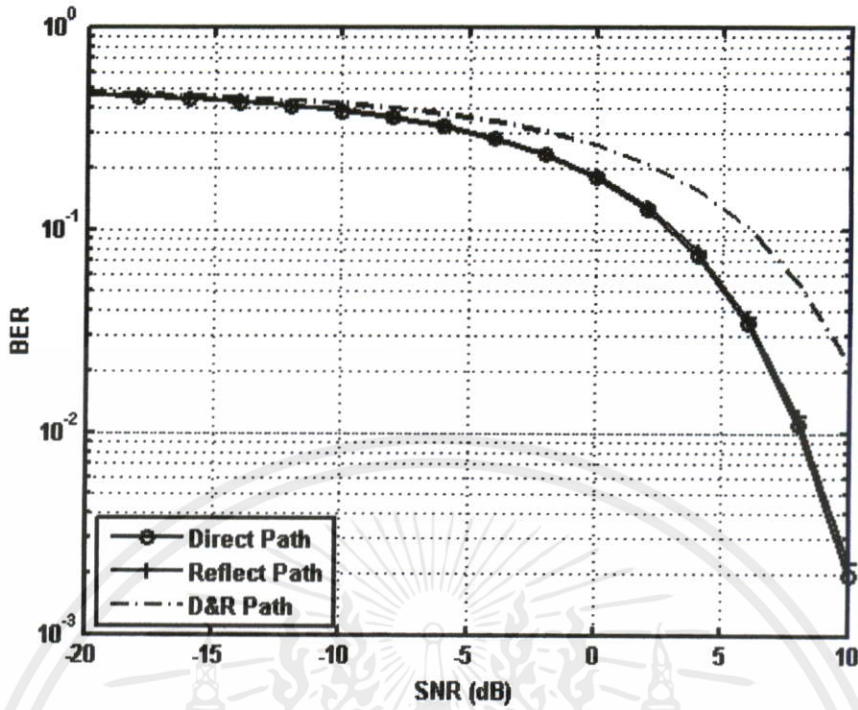


รูปที่ 5.21 อัตราความผิดพลาดของบิตบนพื้นผิวขรุขระมากเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่ง และด้านรับมีค่า 1.9 เมตรและ 2.2 เมตร ตามลำดับ

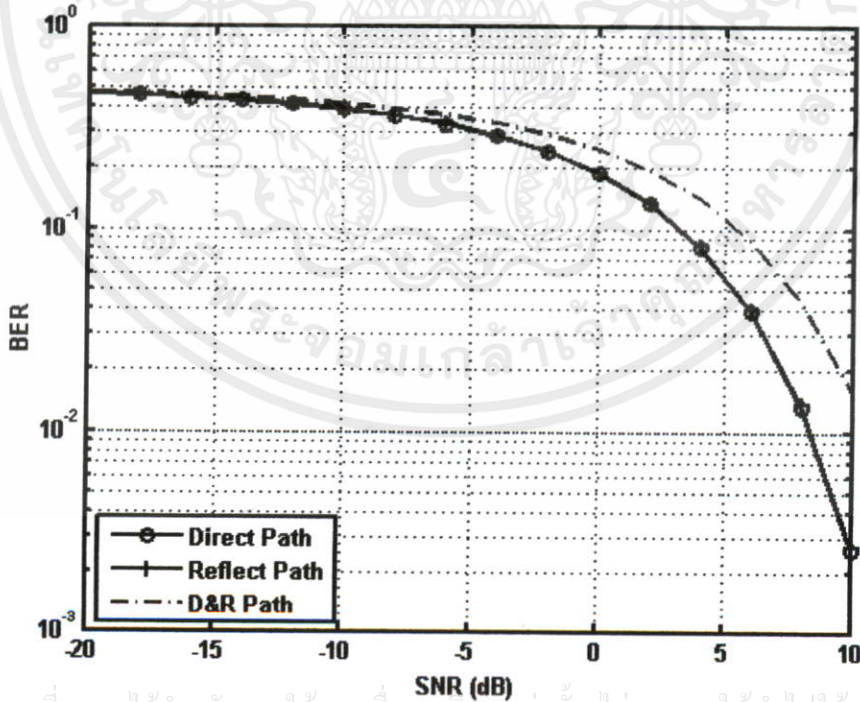
⊕ อัตราความผิดพลาดของบิตเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 2.2 เมตร และ 1.6 เมตร ตามลำดับ และสะท้อน ไปบนพื้นผิวต่างๆ



รูปที่ 5.22 อัตราความผิดพลาดของบิตบนพื้นผิวเรียบเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 2.2 เมตรและ 1.6 เมตร ตามลำดับ



รูปที่ 5.23 อัตราความผิดพลาดของบิตบนพื้นผิวขรุขระเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 2.2 เมตรและ 1.6 เมตร ตามลำดับ

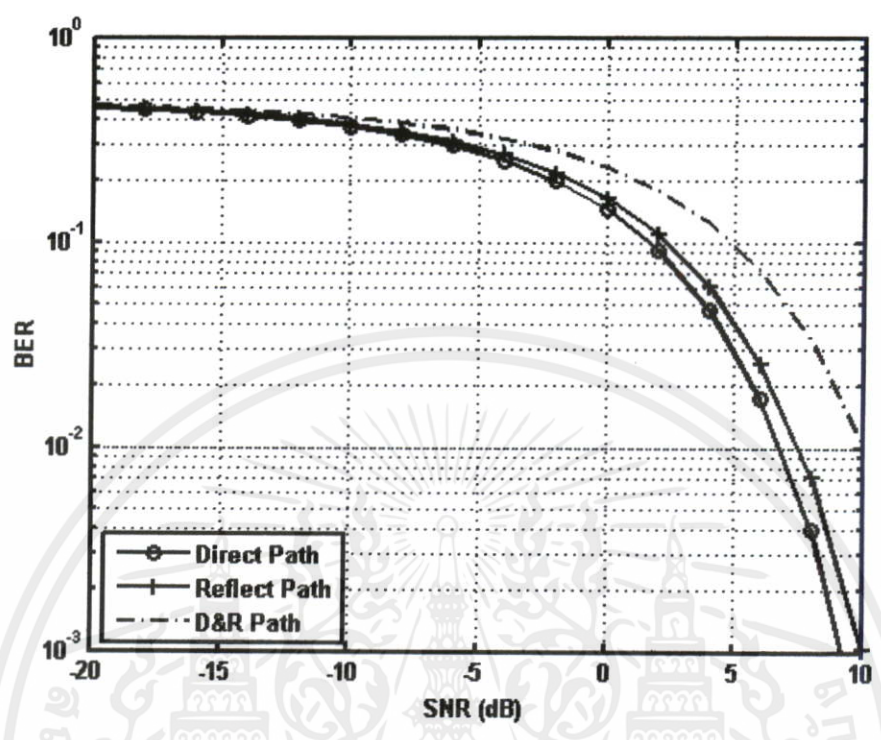


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

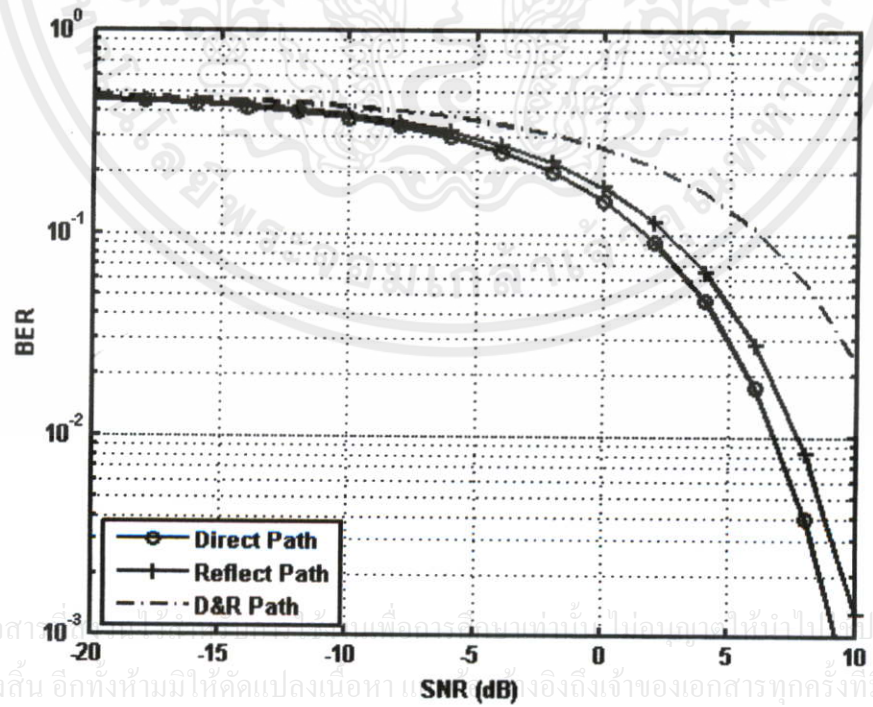
ไม่ว่ากรณีใดๆ กรุณาแจ้งที่ ๕๐๖ ถนนวิภาวดีรังสิต กรุงเทพฯ ๑๐๑๖๐ โทร. ๐๒-๕๖๒๐๖๐๐

รูปที่ 5.24 อัตราความผิดพลาดของบิตบนพื้นผิวขรุขระมากเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 2.2 เมตรและ 1.6 เมตร ตามลำดับ

✦ อัตราความผิดพลาดของบิตเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 2.2 เมตร และ 1.9 เมตร ตามลำดับ และสะท้อนไปบนพื้นผิวต่างๆ

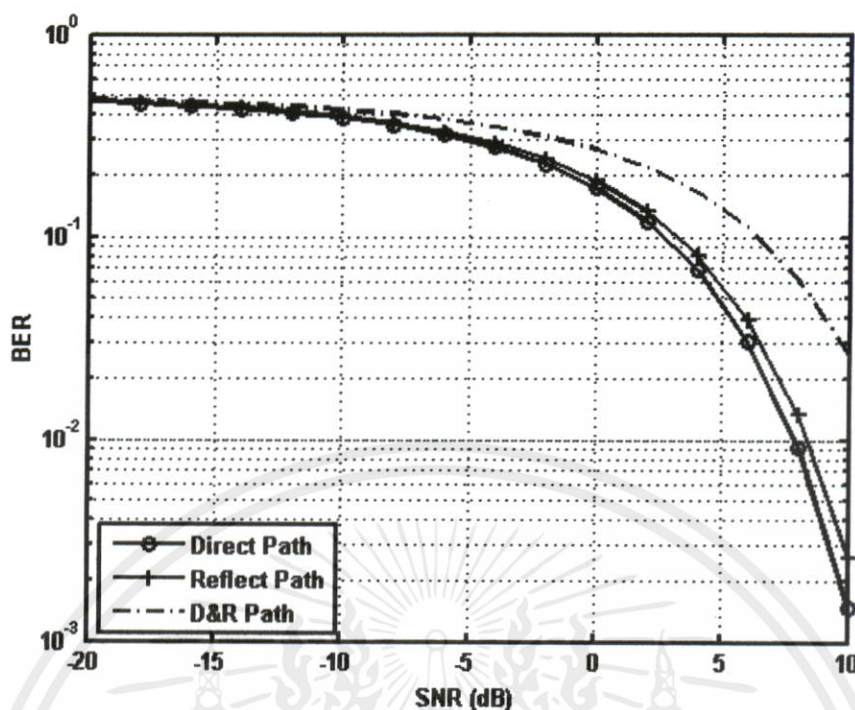


รูปที่ 5.25 อัตราความผิดพลาดของบิตบนพื้นผิวเรียบเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 2.2 เมตรและ 1.9 เมตร ตามลำดับ



รูปที่ 5.26 อัตราความผิดพลาดของบิตบนพื้นผิวขรุขระเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 2.2 เมตรและ 1.9 เมตร ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.27 อัตราความผิดพลาดของบิตบนพื้นผิวขรุขระมากเมื่อความสูงของสายอากาศด้านส่ง และด้านรับมีค่า 2.2 เมตรและ 1.9 เมตร ตามลำดับ

ลักษณะของอัตราความผิดพลาดของบิตเมื่อสายอากาศมีความสูงต่างกันในกรณีต่างๆ พบว่าก็มีลักษณะที่สอดคล้องกับอัตราความผิดพลาดของบิตเมื่อสายอากาศมีความสูงเท่ากัน คือ พบว่าสัญญาณที่มาในทิศทางตรงมีอัตราความผิดพลาดของบิตที่ต่ำที่สุด รองลงมาคือสัญญาณที่มาจากทิศทางสะท้อน และเมื่อนำสองสัญญาณที่มาจากสองทิศทางรวมกันแล้วพบว่าเกิดอัตราความผิดพลาดของบิตที่เพิ่มขึ้น โดยอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่เท่ากันจะเกิดอัตราความผิดพลาดของบิตที่มากกว่าของสัญญาณที่มาจากสองทิศทาง และเมื่อพิจารณาชนิดของพื้นผิวเพิ่มเติมพบว่าที่อัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนเท่ากันนั้น อัตราความผิดพลาดของบิตของพื้นผิวที่ขรุขระมากจะมีค่าความผิดพลาดที่มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นผิวอื่น ๆ

ส่วนความสูงของสายอากาศที่แตกต่างกัน พบว่าเมื่อสายอากาศด้านส่งมีความสูงที่ต่ำกว่าสายอากาศด้านรับจะทำให้เกิดอัตราความผิดพลาดของบิตของสัญญาณทิศทางตรงและทิศทางสะท้อนมากขึ้นเมื่อเทียบกับกรณีของสายอากาศด้านส่งสูงกว่าสายอากาศด้านรับ ส่วนค่าอัตราความผิดพลาดของบิตของสัญญาณที่รวมกันแล้วนั้นมีแนวโน้มที่ไม่แตกต่างกันมาไม่ว่าสายอากาศด้านส่งจะต่ำกว่าสายอากาศด้านรับก็ตาม แต่สิ่งที่ทำให้อัตราความผิดพลาดของบิตเพิ่มขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของพื้นผิวที่สะท้อน โดยพื้นผิวเรียบจะมีอัตราความผิดพลาดของบิตที่ต่ำกว่าพื้นผิวอื่น ๆ ไม่ว่าความสูงของสายอากาศจะมีความต่างกันหรือไม่ก็ตาม

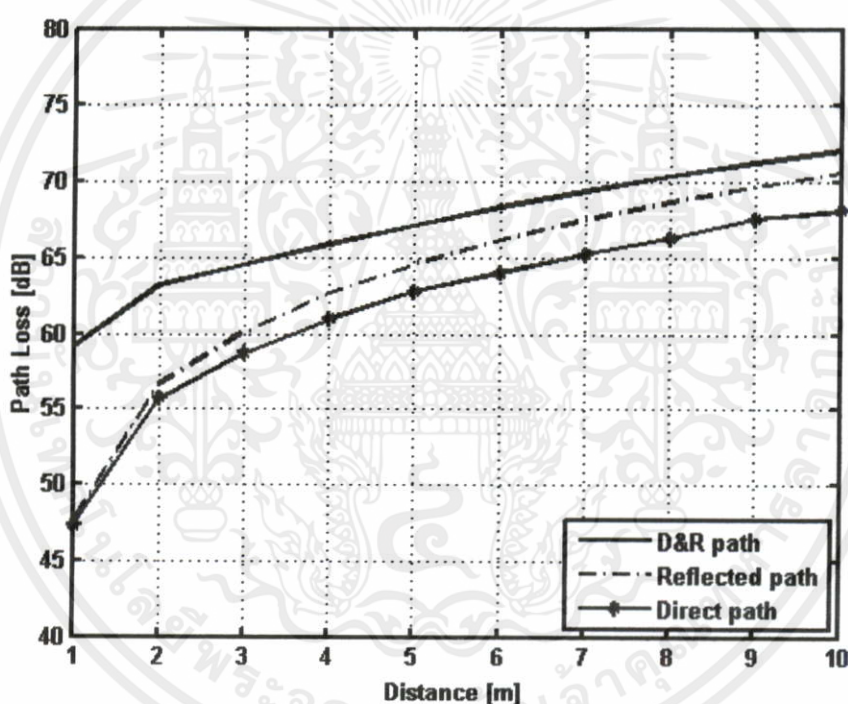
จึงสรุปได้ว่า เมื่อนำสัญญาณจากทิศทางตรงและทิศทางสะท้อนมารวมกันแล้วจะทำให้ประสิทธิภาพของสัญญาณลดลงในทุกๆ ตำแหน่งที่ทำการวัด ซึ่งการลดลงของประสิทธิภาพนี้จะ

ทำให้เกิดการแทรกสอดขึ้นไม่ว่าจะเป็นการสะท้อนจากพื้นผิวชนิดใดก็ตาม และเมื่อเปรียบเทียบการแทรกสอดจากชนิดของพื้นผิวที่ต่างก็พบว่า เกิดการแทรกสอดของสัญญาณบนพื้นผิวแบบขรุขระมากนั้นมีค่าการแทรกสอดมากที่สุด เช่นเดียวกัน

### 5.2.2.2 การสูญเสียเชิงวิถี

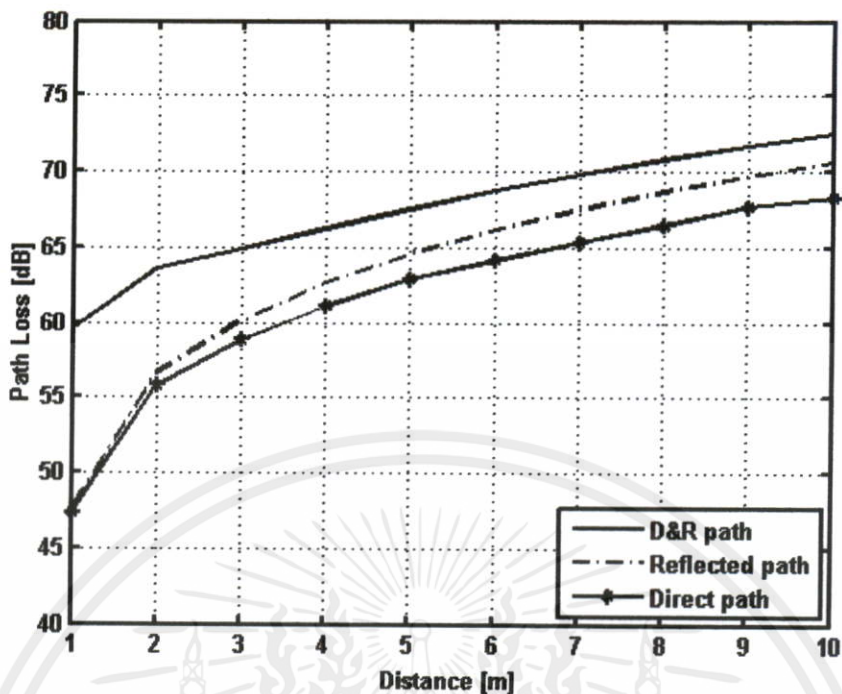
การแสดงผลจะแบ่งออกตามการปรับสายอากาศและประเภทของพื้นผิว ซึ่งในแต่ละกรณีจะมีการแทรกสอดที่ต่างกันไป ดังนี้

⊕ การเปรียบเทียบของการสูญเสียเชิงวิถีเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีความสูงเท่ากันที่ 1.6 เมตร และสะท้อนไปบนพื้นผิวต่างๆ

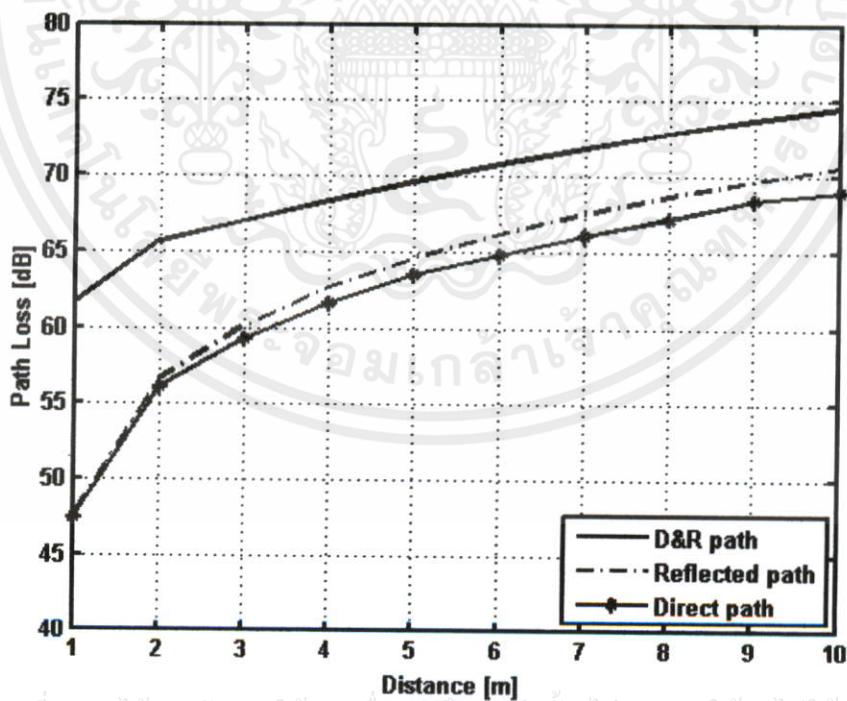


รูปที่ 5.28 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีบนพื้นผิวเรียบเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีความสูงเท่ากันที่ 1.6 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



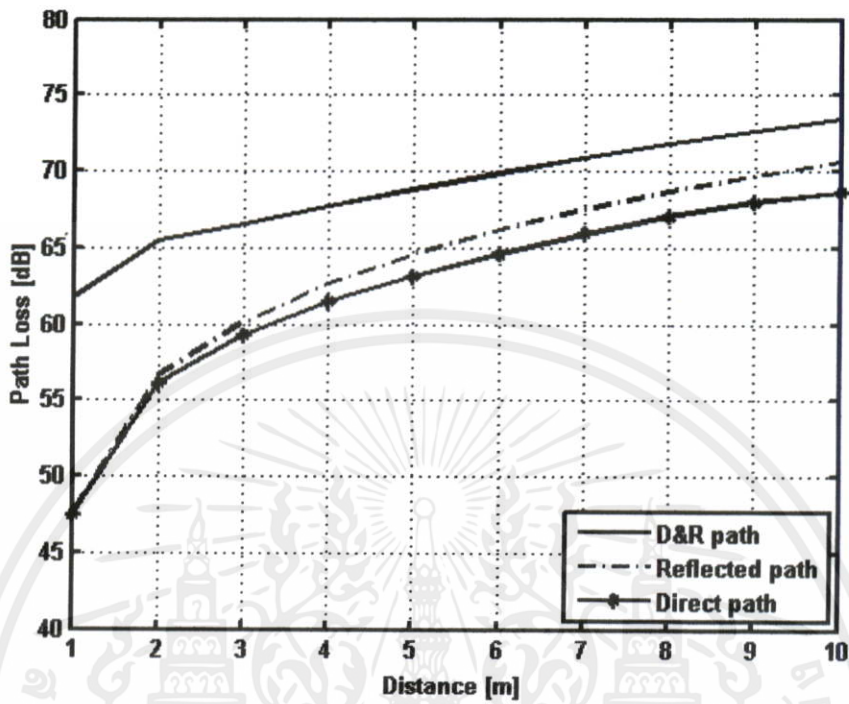
รูปที่ 5.29 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีบนพื้นผิวขรุขระเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีความสูงเท่ากันที่ 1.6 เมตร



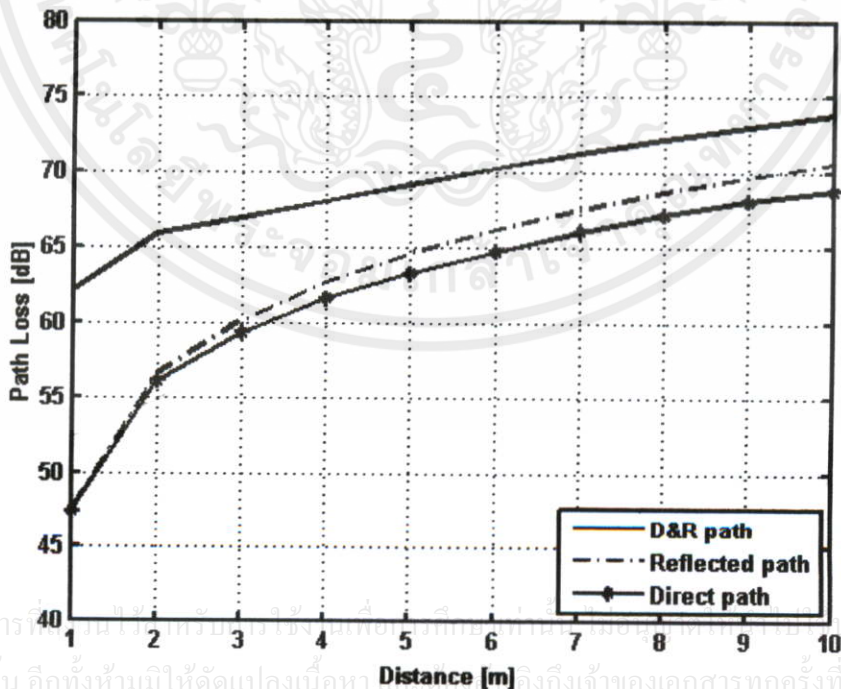
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ รูปที่ 5.30 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีบนพื้นผิวขรุขระมากเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีความสูงเท่ากันที่ 1.6 เมตร

ความสูงเท่ากันที่ 1.6 เมตร

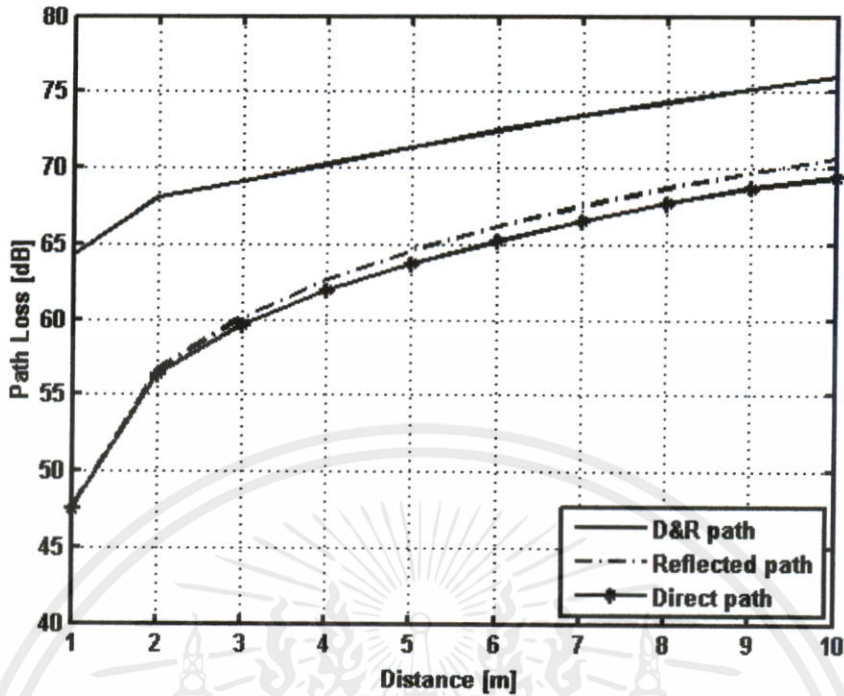
⊕ การเปรียบเทียบของการสูญเสียเชิงวิถีเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีความสูงเท่ากัน  
ที่ 1.9 เมตร และสะท้อนไปบนพื้นผิวต่างๆ



รูปที่ 5.31 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีบนพื้นผิวเรียบเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีความสูงเท่ากันที่ 1.9 เมตร

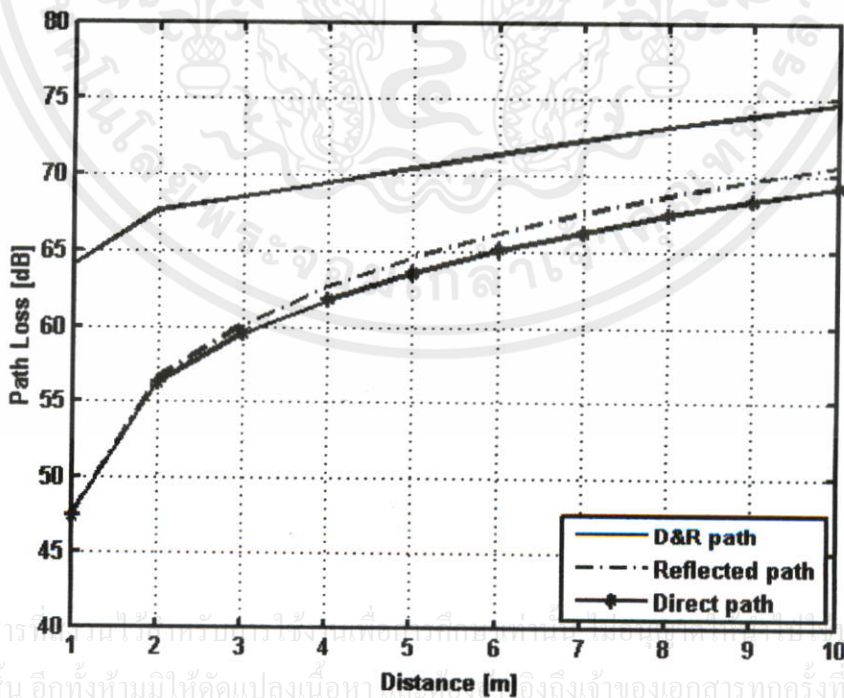


รูปที่ 5.32 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีบนพื้นผิวขรุขระเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีความสูงเท่ากันที่ 1.9 เมตร

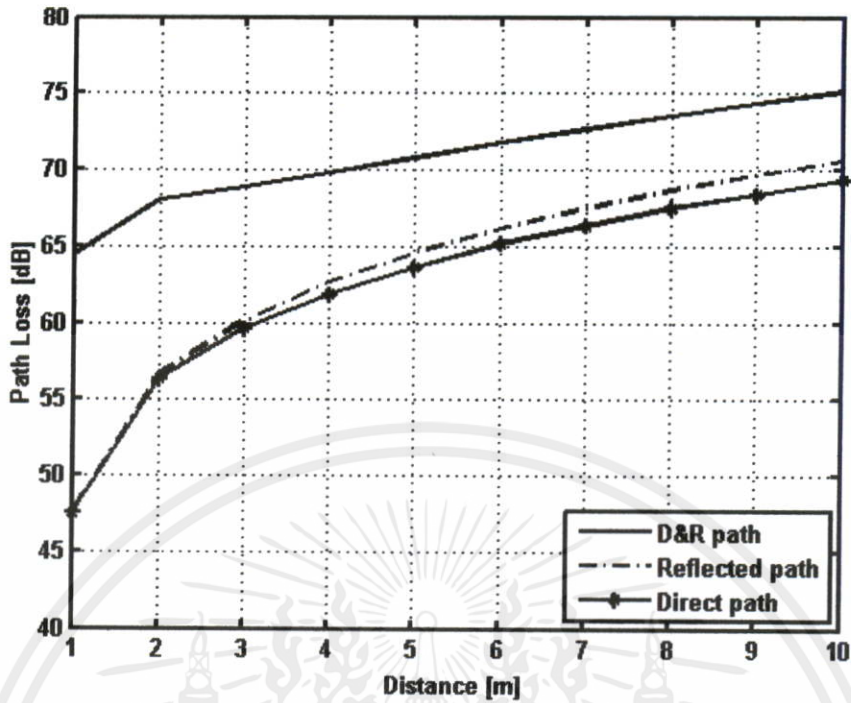


รูปที่ 5.33 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีบนพื้นผิวขรุขระมากเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีความสูงเท่ากันที่ 1.9 เมตร

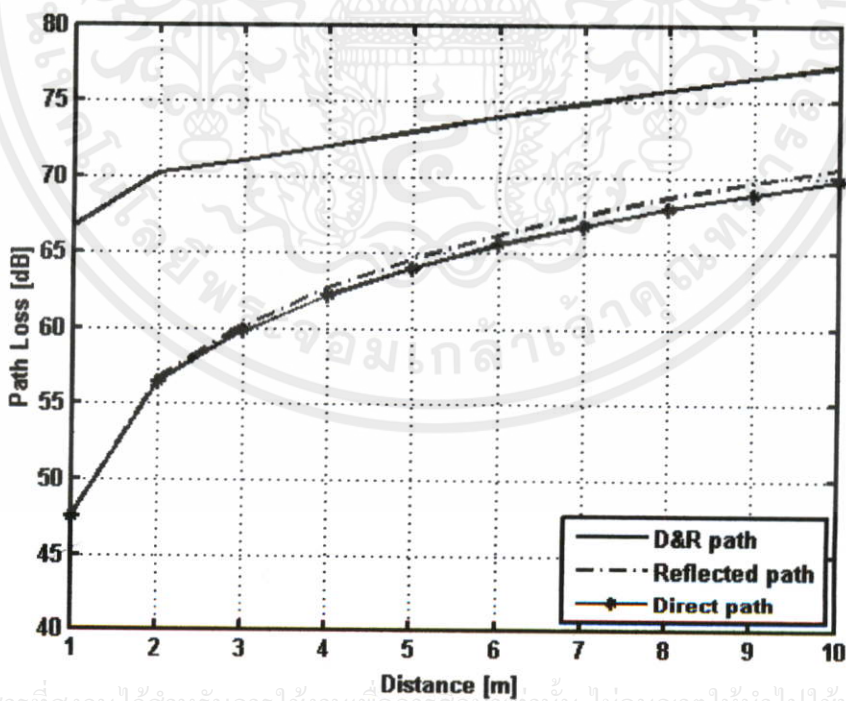
✦ การเปรียบเทียบของการสูญเสียเชิงวิถีเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีความสูงเท่ากันที่ 2.2 เมตร และสะท้อนไปบนพื้นผิวต่างๆ



รูปที่ 5.34 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีบนพื้นผิวเรียบเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีความสูงเท่ากันที่ 2.2 เมตร



รูปที่ 5.35 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีบนพื้นผิวขรุขระเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมี ความสูงเท่ากันที่ 2.2 เมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตามหากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูงและขอสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏ

รูปที่ 5.36 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีบนพื้นผิวขรุขระมากเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมี ความสูงเท่ากันที่ 2.2 เมตร

การเปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีความสูงเท่ากันที่ 1.6 เมตร นั้นพบว่าสัญญาณที่มาจากทิศทางตรงมีการสูญเสียเชิงวิถีที่ต่ำที่สุด รองลงมาคือสัญญาณที่มาจากทิศทางสะท้อน และเมื่อนำสองสัญญาณที่มาจากสองทิศทางรวมกันแล้วพบว่าเกิดการสูญเสียเชิงวิถีที่เพิ่มขึ้น โดยเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดการสูญเสียเชิงวิถีที่มากตามไปด้วยไม่ว่าจะเป็นสัญญาณที่มาจากทิศทางใดก็ตาม และเมื่อพิจารณาชนิดของพื้นผิวเพิ่มเติมพบว่าที่การสูญเสียเชิงวิถีของพื้นผิวที่ขรุขระมากจะมีการสูญเสียเชิงวิถีที่มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นผิวอื่น ๆ และที่ความสูง 1.6 เมตร เท่ากันนี้ก็จะมีการสูญเสียเชิงวิถีที่น้อยกว่าที่ความสูง 1.9 เมตร และ 2.2 เมตร เมื่อเปรียบเทียบบนพื้นผิวที่มีลักษณะเดียวกัน

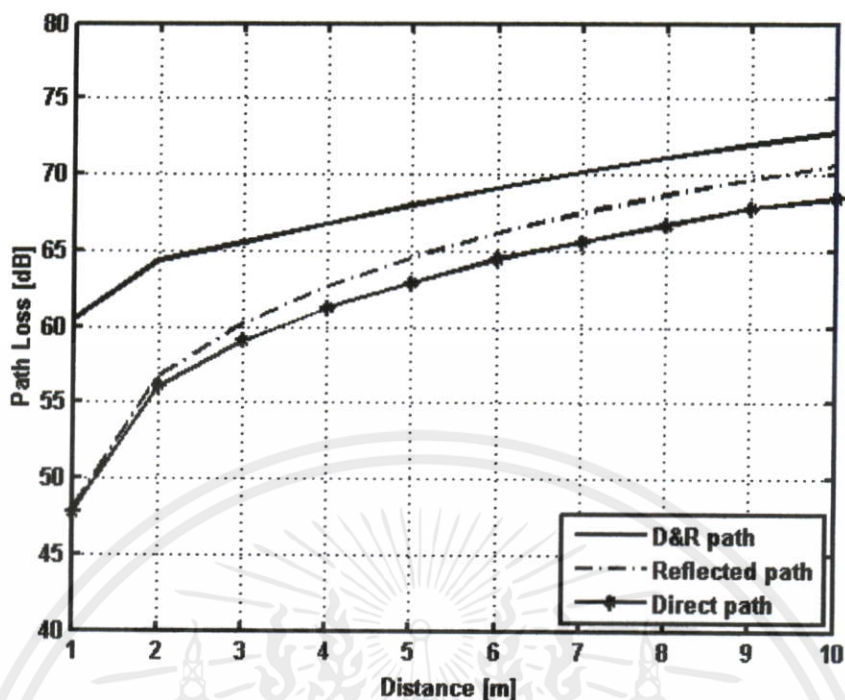
การเปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับ 1.9 เมตร เท่ากัน นั้นพบว่ามีความไวที่เหมือนกันกับความสูง 1.6 เมตร เพียงแต่การสูญเสียเชิงวิถีของความสูง 1.9 เมตร นี้จะมีค่าที่สูงกว่าเมื่อมีพื้นผิวชนิดเดียวกัน

การเปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีที่ความสูงของสายอากาศสายอากาศด้านส่งและด้านรับ 2.2 เมตร เท่ากัน มีลักษณะเดียวกันกับที่ความสูง 1.6 เมตร 1.9 เมตร เพียงแต่การสูญเสียเชิงวิถีนั้นจะมากกว่าทั้งสองกรณีแรก

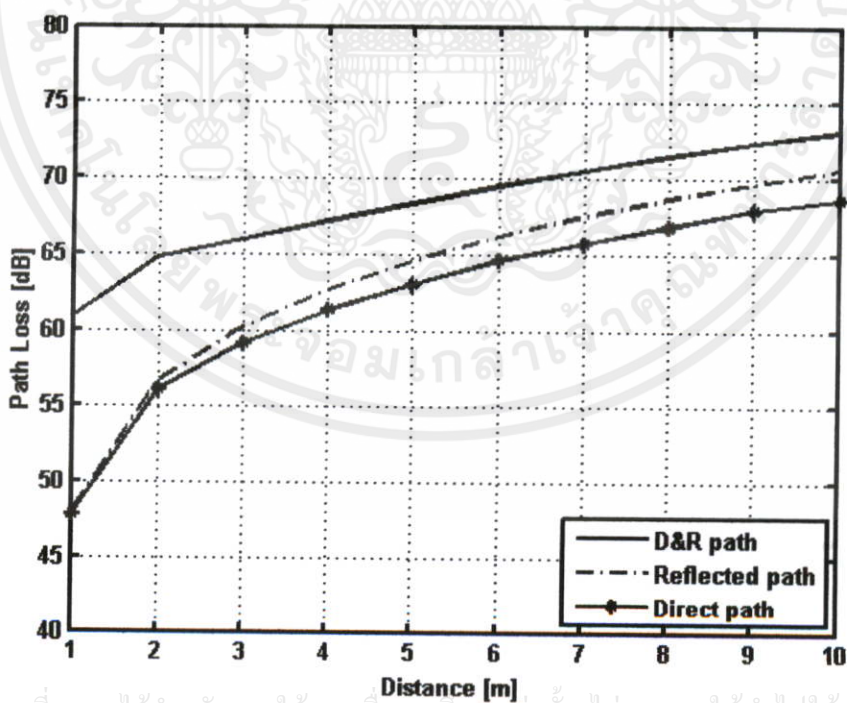
ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า เมื่อความสูงของสายอากาศเท่ากันแล้วนำสัญญาณจากทิศทางตรงและทิศทางสะท้อนมารวมกันแล้วจะทำให้ประสิทธิภาพของสัญญาณลดลงในทุกๆ ตำแหน่งที่ทำการวัด ซึ่งการลดลงของประสิทธิภาพนี้จะทำให้เกิดการแทรกสอดขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการสะท้อนจากพื้นผิวชนิดใดก็ตาม และเมื่อเปรียบเทียบการแทรกสอดจากชนิดของพื้นผิวที่แตกต่างกันก็พบว่าเกิดการแทรกสอดของสัญญาณบนพื้นผิวแบบขรุขระมากนั้นมีค่าการแทรกสอดมากที่สุด

⊕ การเปรียบเทียบของการสูญเสียเชิงวิถีเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 1.6 เมตร และ 1.9 เมตร ตามลำดับ และสะท้อนไปบนพื้นผิวต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



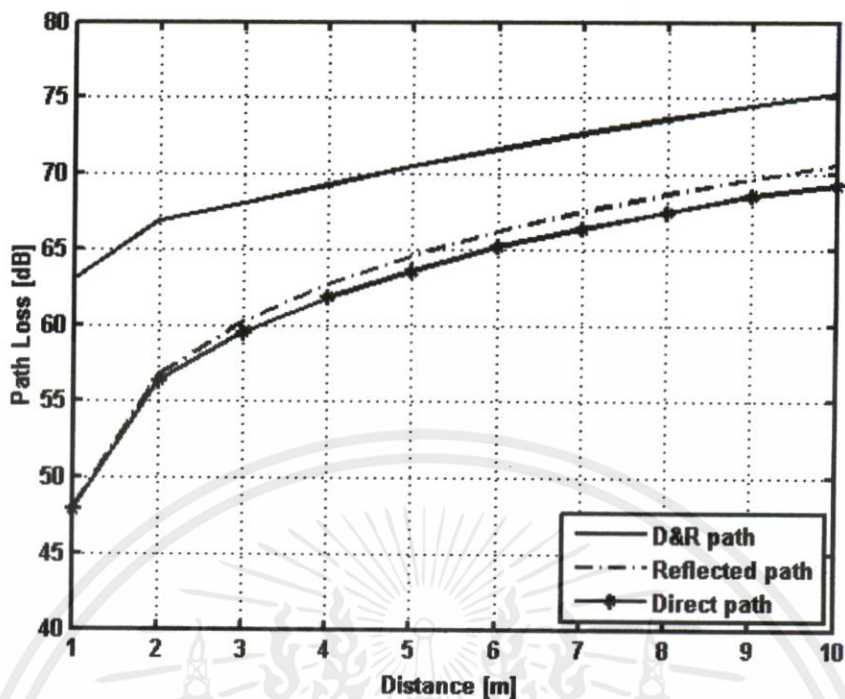
รูปที่ 5.37 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีบนพื้นผิวเรียบเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 1.6 เมตร และ 1.9 เมตร ตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ

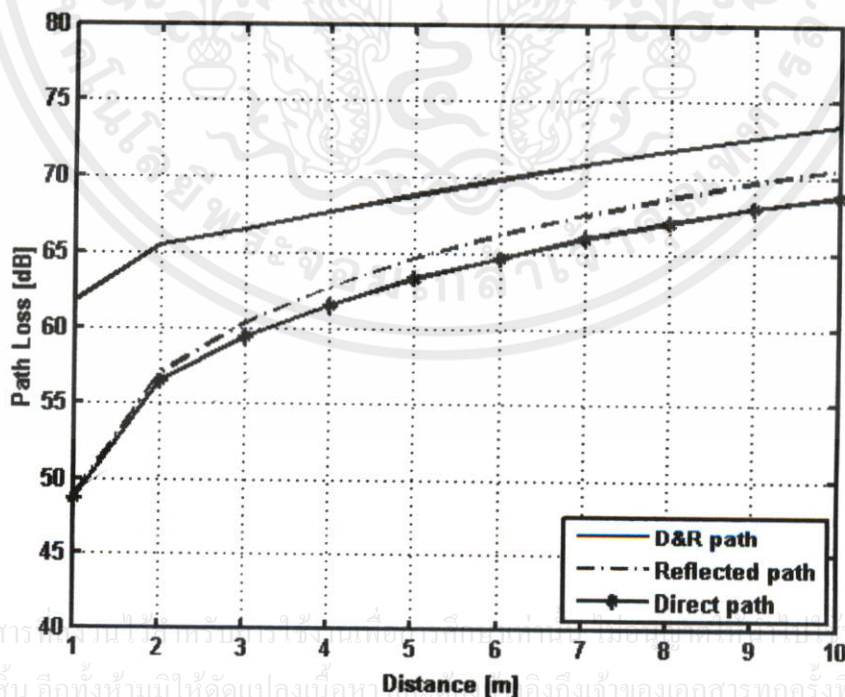
รูปที่ 5.38 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีบนพื้นผิวขรุขระเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 1.6 เมตร และ 1.9 เมตร ตามลำดับ

ค่า 1.6 เมตร และ 1.9 เมตร ตามลำดับ

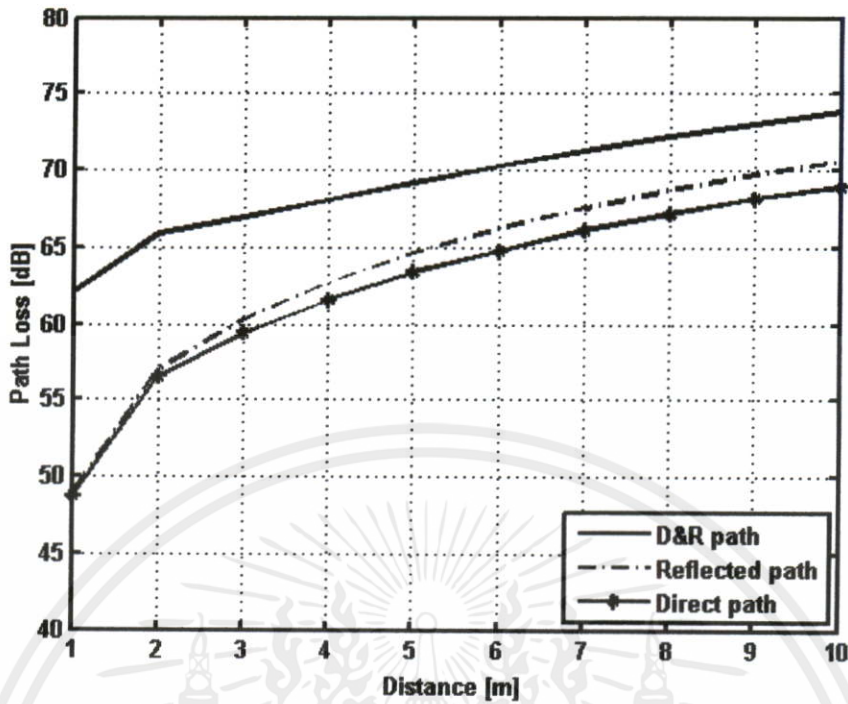


รูปที่ 5.39 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีบนพื้นผิวขรุขระมากเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับ มีค่า 1.6 เมตร และ 1.9 เมตร ตามลำดับ

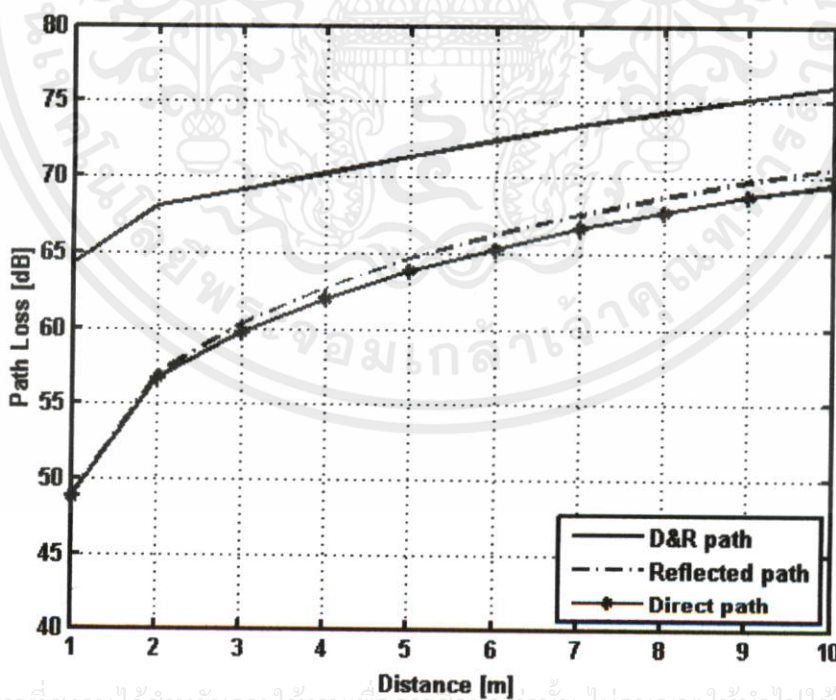
⊕ การเปรียบเทียบของการสูญเสียเชิงวิถีเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 1.6 เมตร และ 2.2 เมตร ตามลำดับ และสะท้อน ไปบนพื้นผิวต่างๆ



รูปที่ 5.40 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีบนพื้นผิวเรียบเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับ มีค่า 1.6 เมตร และ 2.2 เมตร ตามลำดับ



รูปที่ 5.41 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีบนพื้นผิวขรุขระเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับ มีค่า 1.6 เมตร และ 2.2 เมตร ตามลำดับ

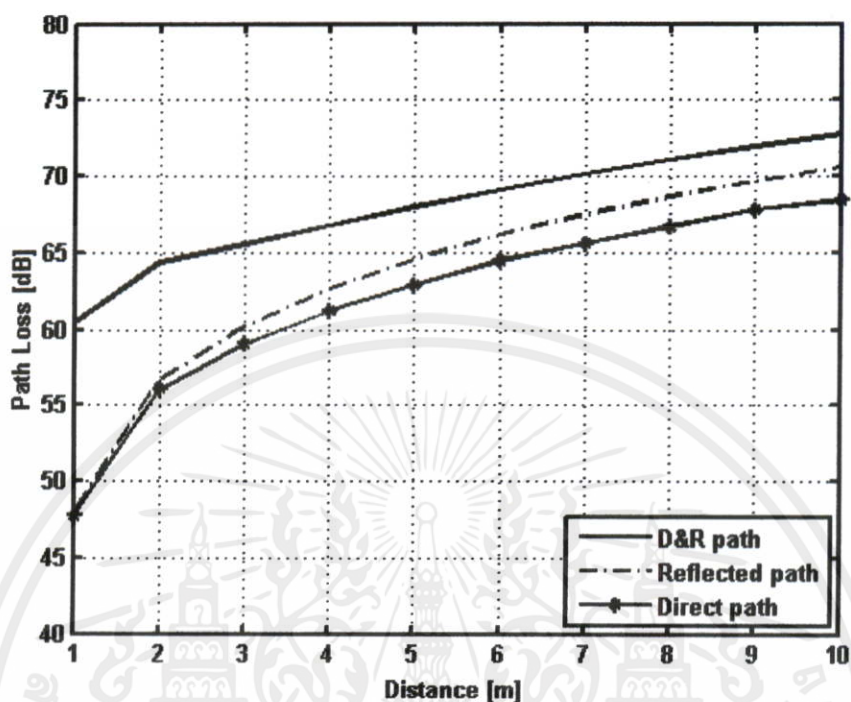


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายวิชาการ โทร. 02-253-7000

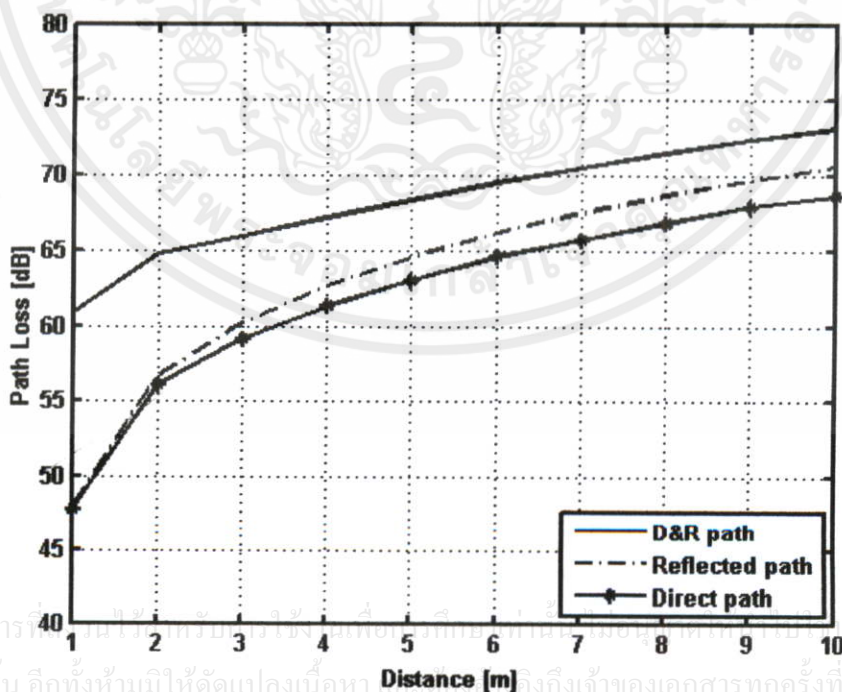
รูปที่ 5.42 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีบนพื้นผิวขรุขระมากเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับ มีค่า 1.6 เมตร และ 2.2 เมตร ตามลำดับ

มีค่า 1.6 เมตร และ 2.2 เมตร ตามลำดับ

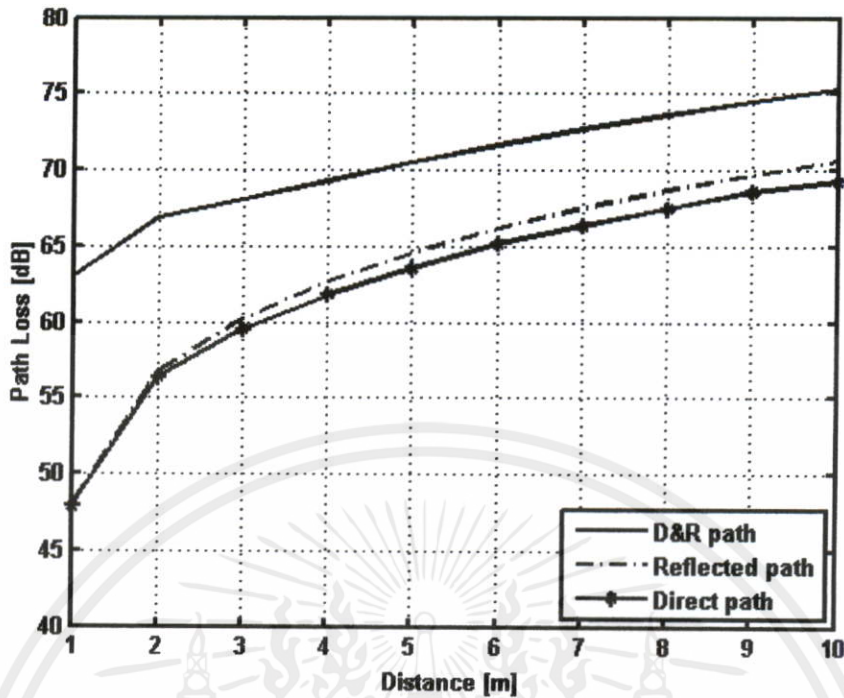
⊕ การเปรียบเทียบของการสูญเสียเชิงวิถีเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 1.9 เมตร และ 1.6 เมตร ตามลำดับ และสะท้อนไปบนพื้นผิวต่างๆ



รูปที่ 5.43 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีบนพื้นผิวเรียบเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับ มีค่า 1.9 เมตร และ 1.6 เมตร ตามลำดับ

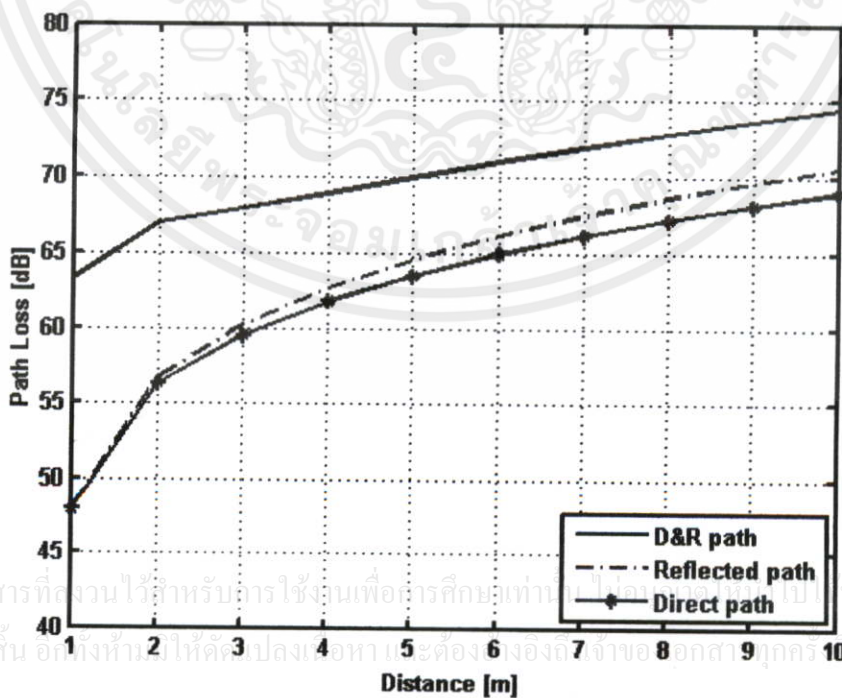


รูปที่ 5.44 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีบนพื้นผิวขรุขระเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับ มีค่า 1.9 เมตร และ 1.6 เมตร ตามลำดับ

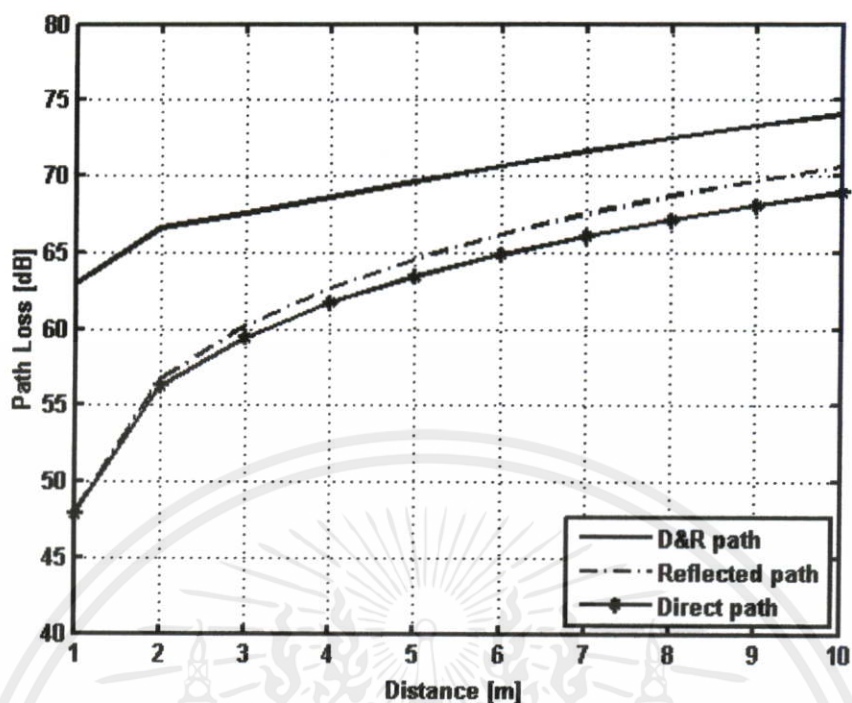


รูปที่ 5.45 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีบนพื้นผิวขรุขระมากเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับ มีค่า 1.9 เมตร และ 1.6 เมตร ตามลำดับ

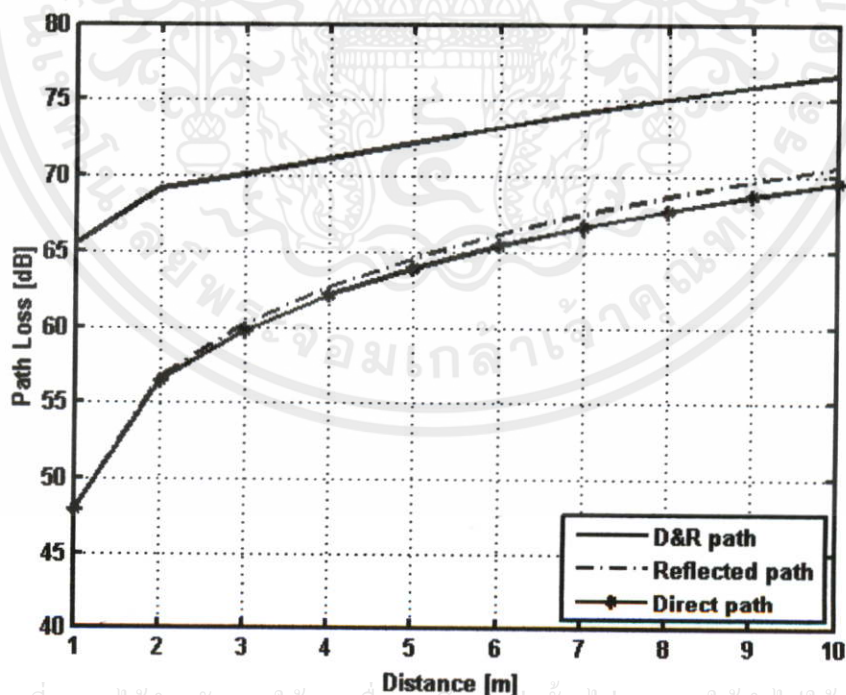
⊕ การเปรียบเทียบของการสูญเสียเชิงวิถีเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 1.9 เมตร และ 2.2 เมตร ตามลำดับ และสะท้อนไปบนพื้นผิวต่างๆ



รูปที่ 5.46 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีบนพื้นผิวเรียบเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับ มีค่า 1.9 เมตร และ 2.2 เมตร ตามลำดับ



รูปที่ 5.47 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีบนพื้นผิวขรุขระเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับ มีค่า 1.9 เมตร และ 2.2 เมตร ตามลำดับ

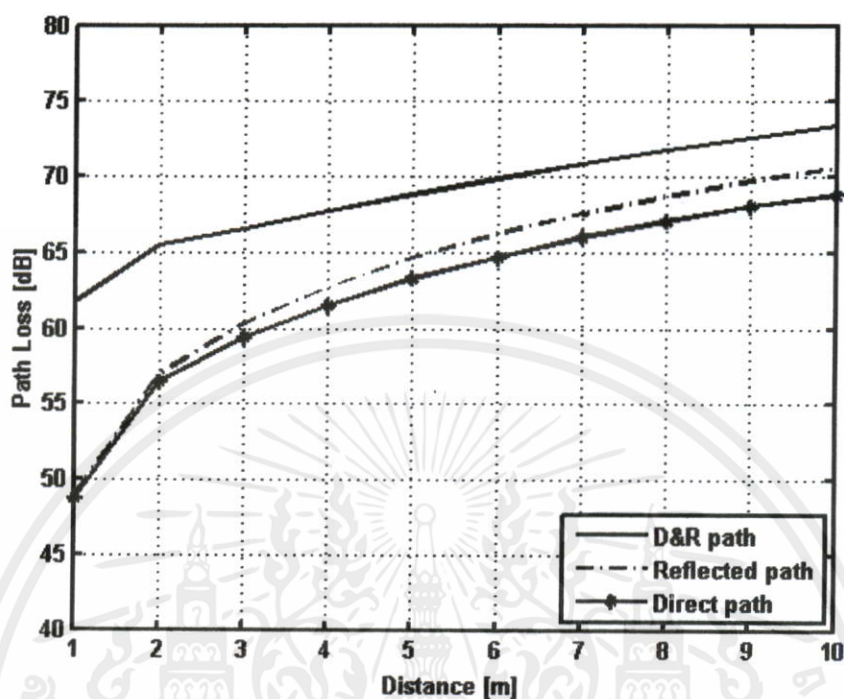


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ

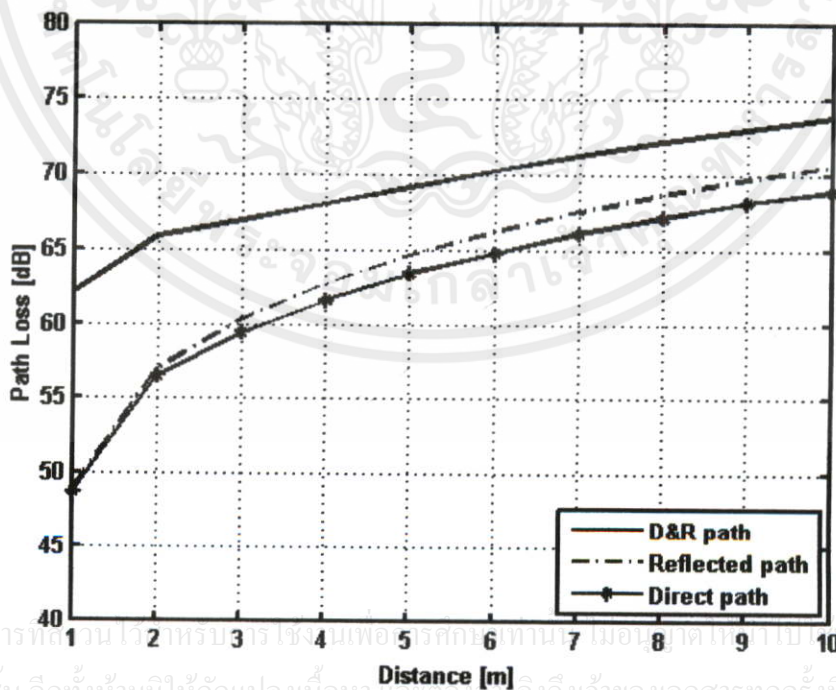
รูปที่ 5.48 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีบนพื้นผิวขรุขระมากเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับ มีค่า 1.9 เมตร และ 2.2 เมตร ตามลำดับ

มีค่า 1.9 เมตร และ 2.2 เมตร ตามลำดับ

⊕ การเปรียบเทียบของการสูญเสียเชิงวิถีเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 2.2 เมตร และ 1.6 เมตร ตามลำดับ และสะท้อนไปบนพื้นผิวต่างๆ

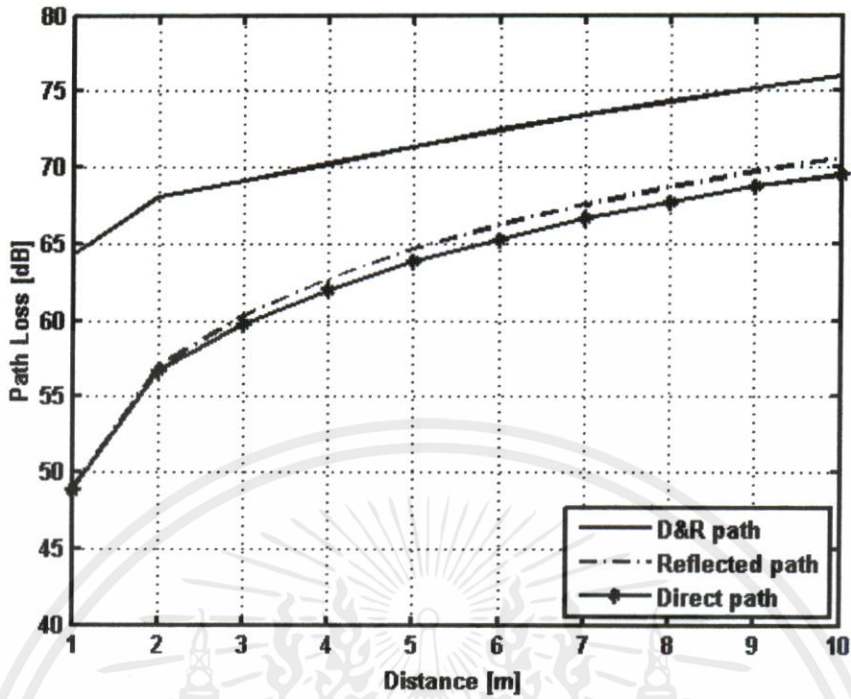


รูปที่ 5.49 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีบนพื้นผิวเรียบเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับ มีค่า 2.2 เมตร และ 1.6 เมตร ตามลำดับ



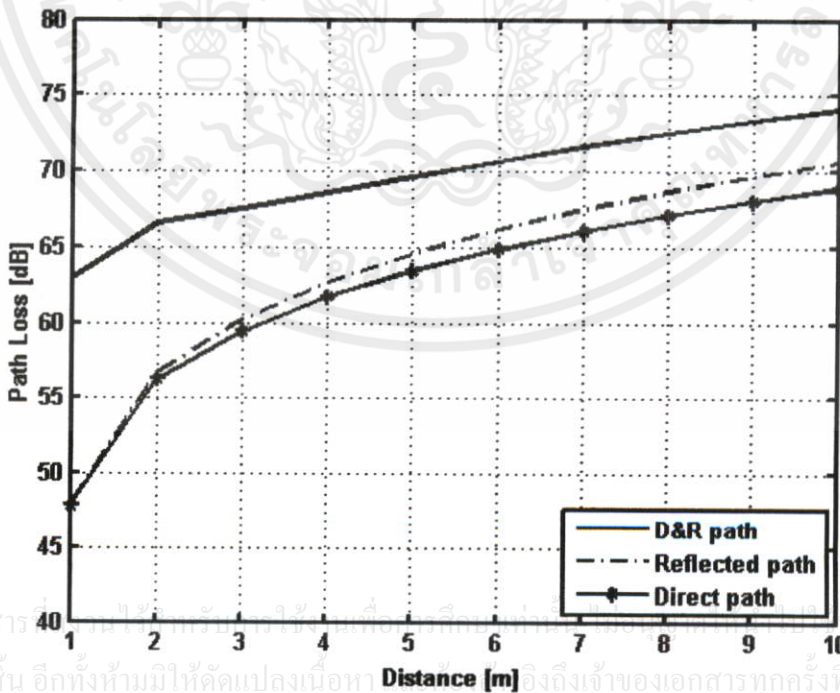
รูปที่ 5.50 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีบนพื้นผิวขรุขระเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับ มีค่า 2.2 เมตร และ 1.6 เมตร ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

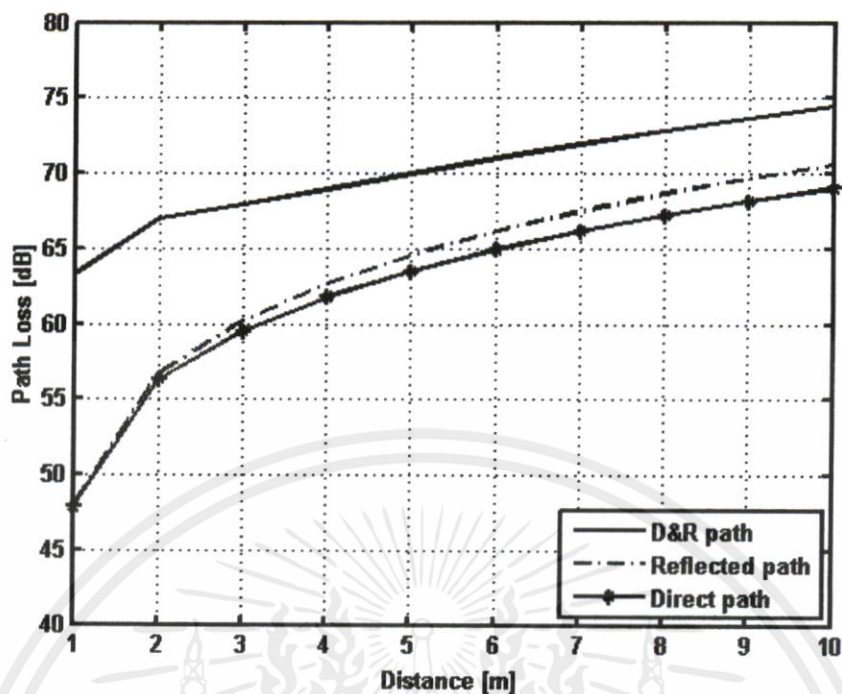


รูปที่ 5.51 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีบนพื้นผิวขรุขระมากเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับ มีค่า 2.2 เมตร และ 1.6 เมตร ตามลำดับ

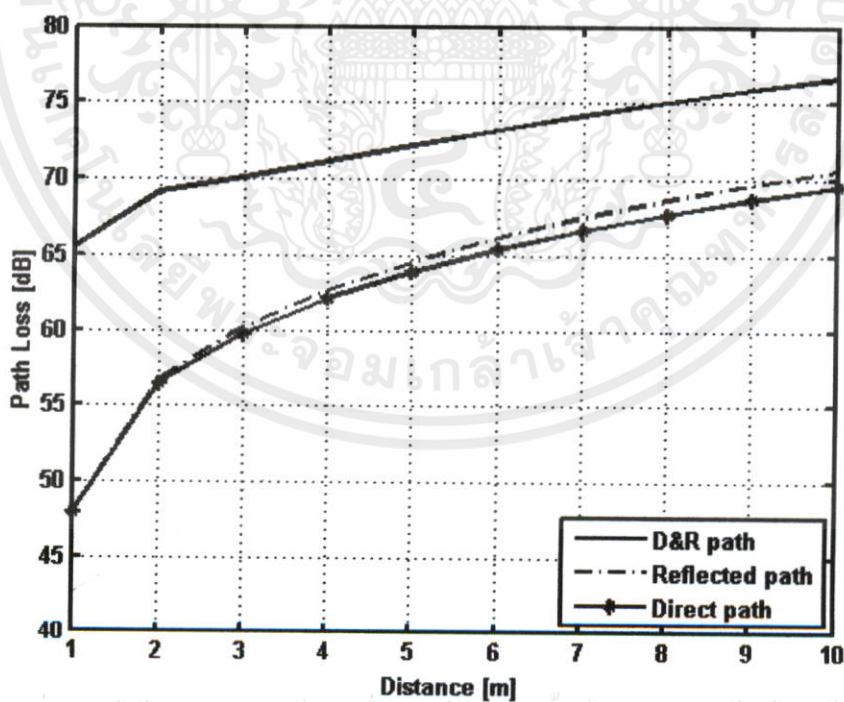
⊕ การเปรียบเทียบของการสูญเสียเชิงวิถีเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 2.2 เมตร และ 1.9 เมตร ตามลำดับ และสะท้อนไปบนพื้นผิวต่างๆ



รูปที่ 5.52 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีบนพื้นผิวเรียบเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับ มีค่า 2.2 เมตร และ 1.9 เมตร ตามลำดับ



รูปที่ 5.53 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีบนพื้นผิวขรุขระเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับ มีค่า 2.2 เมตร และ 1.9 เมตร ตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ รูปที่ 5.54 เปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีบนพื้นผิวขรุขระมากเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับ

มีค่า 2.2 เมตร และ 1.9 เมตร ตามลำดับ

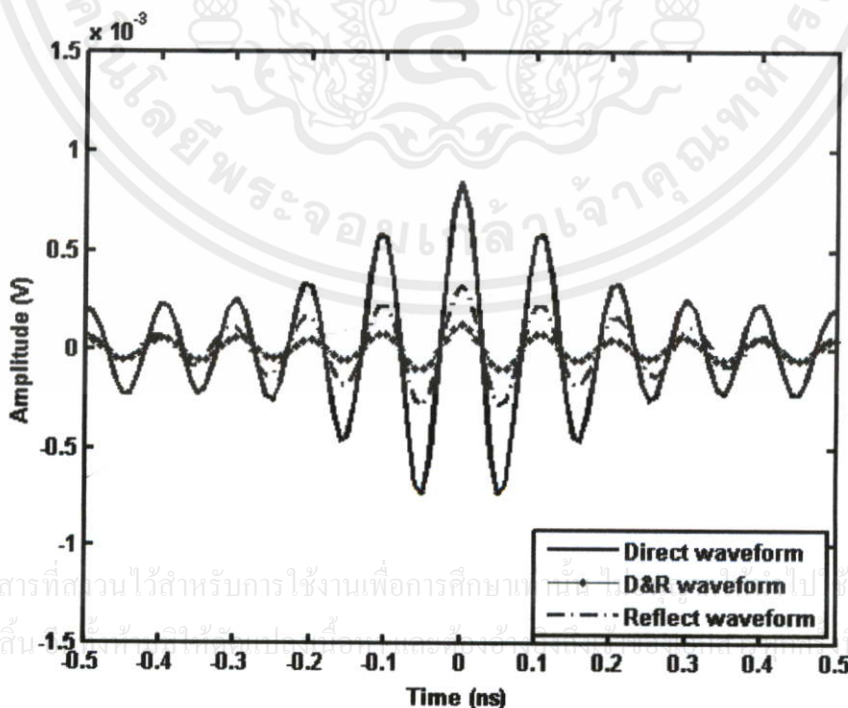
การเปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถีเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีความสูงไม่เท่ากัน นั้นมีค่าในลักษณะที่คล้ายกับการสูญเสียเชิงวิถีเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีความสูงเท่ากัน ซึ่งพบว่าสัญญาณที่มาในทิศทางตรงมีการสูญเสียเชิงวิถีที่ต่ำที่สุด รองลงมาคือสัญญาณที่มาจาก ทิศทางสะท้อน และเมื่อนำสองสัญญาณที่มาจากสองทิศทางรวมกันแล้วพบว่าเกิดการสูญเสียเชิง วิถีที่เพิ่มขึ้น โดยเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดการสูญเสียเชิงวิถีมากตามไปด้วยไม่ว่าจะเป็น สัญญาณที่มาในทิศทางใดก็ตาม และเมื่อพิจารณาชนิดของพื้นผิวเพิ่มเติมพบว่าที่การสูญเสียเชิง วิถีของพื้นผิวที่ขรุขระมากจะมีการสูญเสียเชิงวิถีที่มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นผิวอื่น

สรุปได้ว่า เมื่อความสูงของสายอากาศไม่เท่ากันผลที่ได้มีแนวโน้มที่เหมือนกับแบบที่มี ความสูงเท่ากัน ก็คือเมื่อนำสัญญาณจากทิศทางตรงและทิศทางสะท้อนมารวมกันแล้วจะทำให้ ประสิทธิภาพของสัญญาณลดลงในทุกๆ ตำแหน่งที่ทำการวัด ซึ่งการลดลงของประสิทธิภาพนี้จะ ทำให้เกิดการแทรกสอดขึ้นไม่ว่าจะเป็นการสะท้อนจากพื้นผิวนิดใดก็ตาม และเมื่อเปรียบเทียบ การแทรกสอดจากชนิดของพื้นผิวที่แตกต่างกันก็พบว่า เกิดการแทรกสอดของสัญญาณบนพื้นผิว แบบขรุขระมากนั้นมีค่าการแทรกสอดมากที่สุด

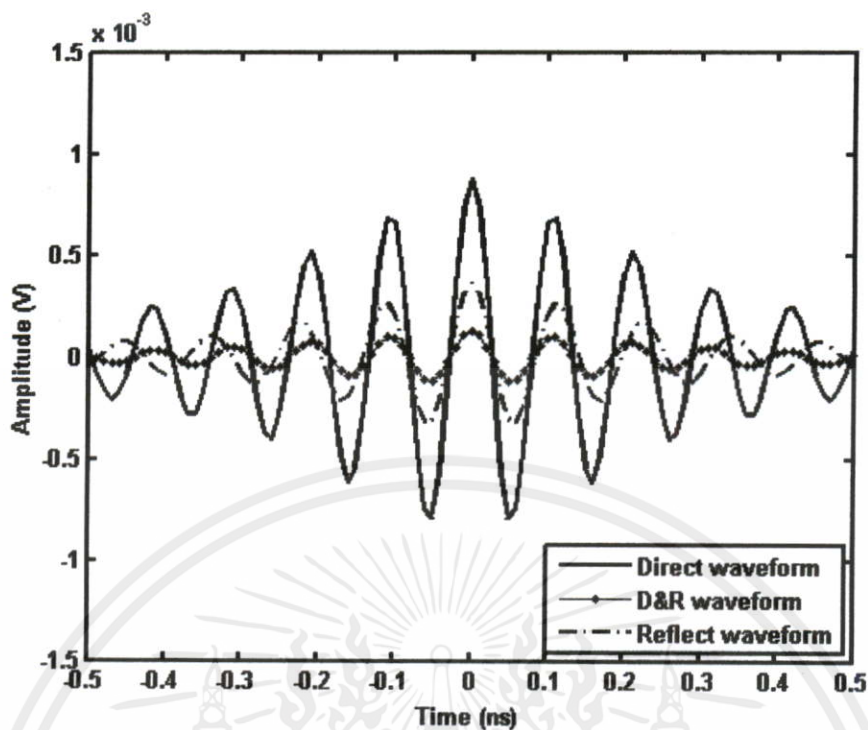
### 5.2.2.3 ความผิดเพี้ยนของรูปคลื่น

การแสดงผลจะแบ่งออกตามการปรับสายอากาศและประเภทของพื้นผิว ซึ่งในแต่ละ ละครณีจะมีการแทรกสอดที่แตกต่างกัน ดังนี้

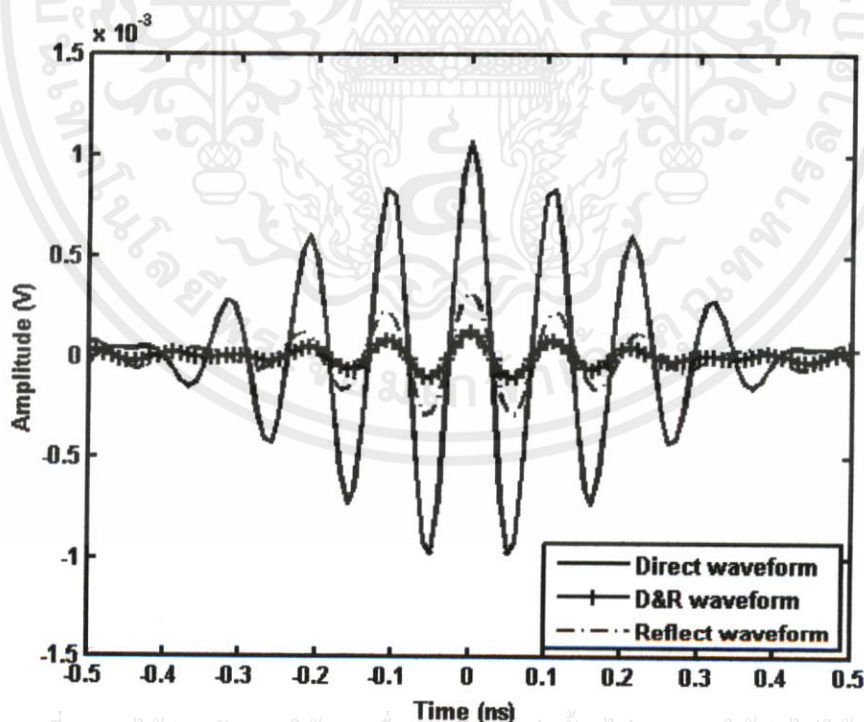
- ✦ การเปรียบเทียบของความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางเมื่อสายอากาศด้านส่ง และด้านรับมีความสูงเท่ากันที่ 1.6 เมตร และสะท้อนไปบนพื้นผิวต่างๆ



รูปที่ 5.55 เปรียบเทียบความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางบนพื้นผิวเรียบเมื่อ สายอากาศด้านส่งและด้านรับมีความสูงเท่ากันที่ 1.6 เมตร

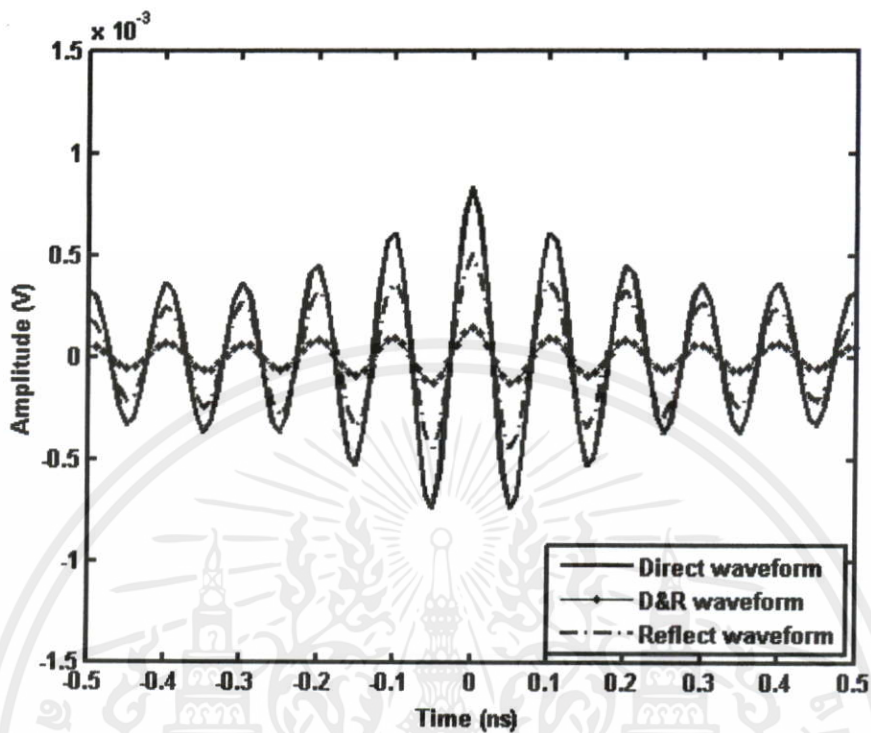


รูปที่ 5.56 เปรียบเทียบความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางบนพื้นผิวขรุขระเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีความสูงเท่ากันที่ 1.6 เมตร

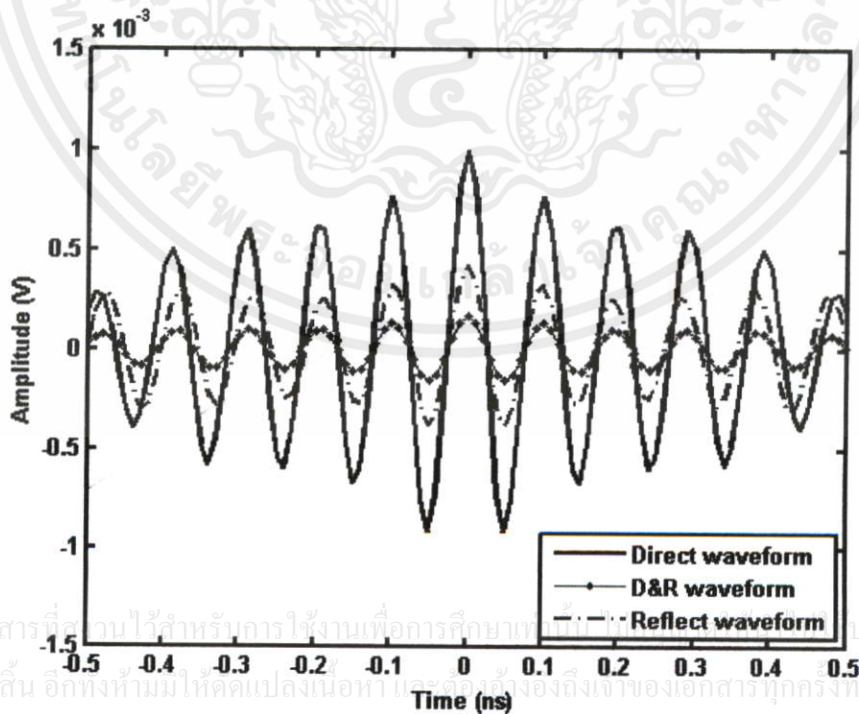


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ รูปที่ 5.57 เปรียบเทียบความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางบนพื้นผิวขรุขระมากเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีความสูงเท่ากันที่ 1.6 เมตร

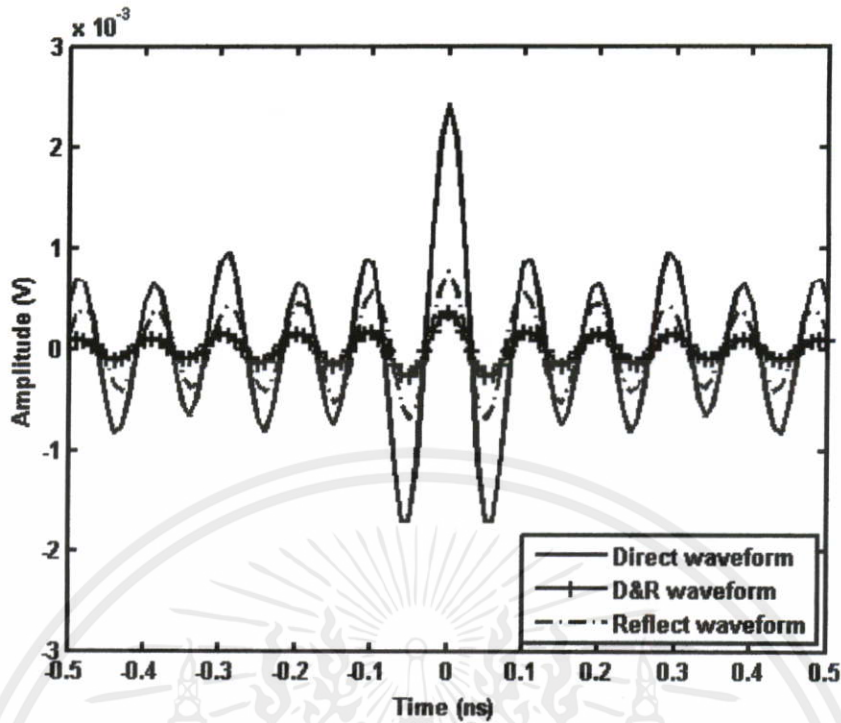
⊕ การเปรียบเทียบของความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีความสูงเท่ากันที่ 1.9 เมตร และสะท้อนไปบนพื้นผิวต่างๆ



รูปที่ 5.58 เปรียบเทียบความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางบนพื้นผิวเรียบเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีความสูงเท่ากันที่ 1.9 เมตร

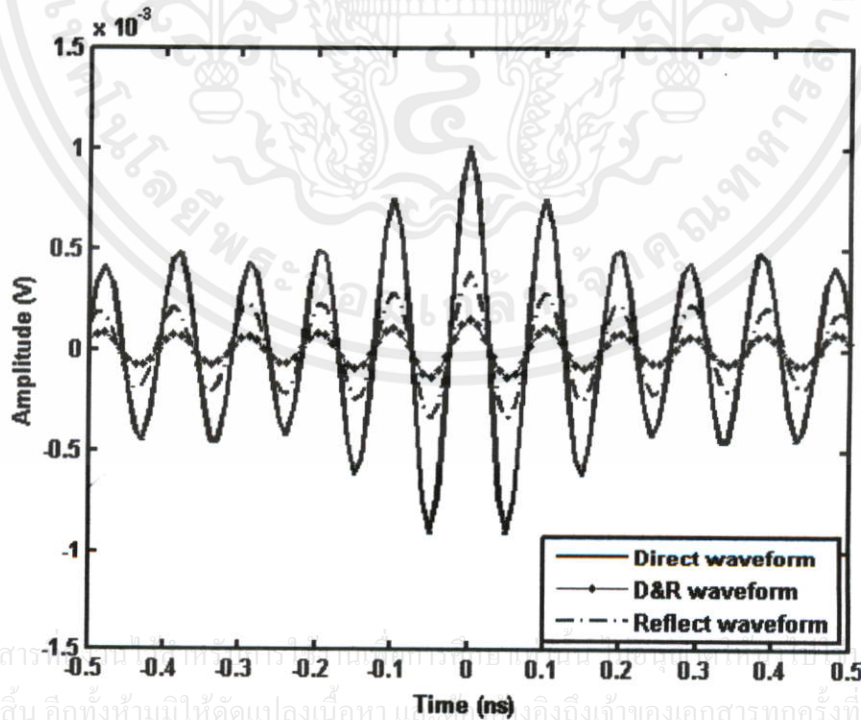


รูปที่ 5.59 เปรียบเทียบความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางบนพื้นผิวขรุขระเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีความสูงเท่ากันที่ 1.9 เมตร



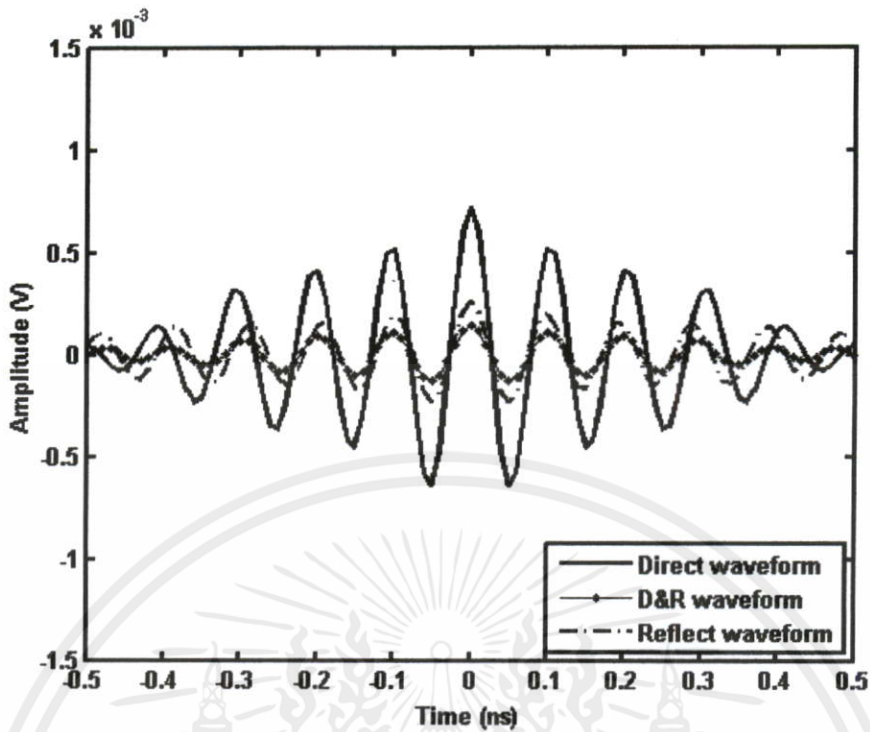
รูปที่ 5.60 เปรียบเทียบความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางบนพื้นผิวขรุขระมากเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีความสูงเท่ากันที่ 1.9 เมตร

⊕ การเปรียบเทียบของความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีความสูงเท่ากันที่ 2.2 เมตร และสะท้อนไปบนพื้นผิวต่างๆ

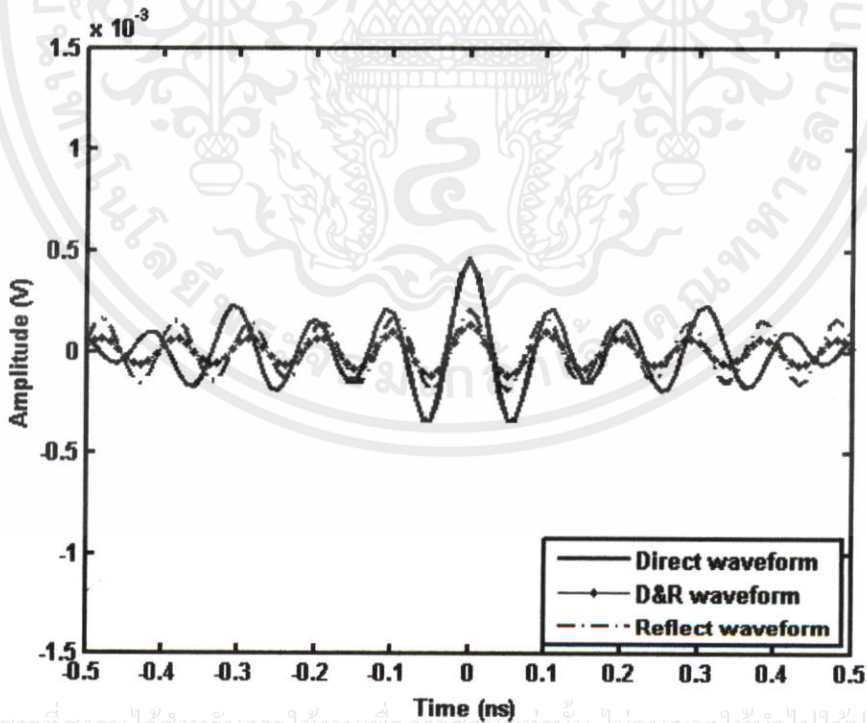


รูปที่ 5.61 เปรียบเทียบความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางบนพื้นผิวเรียบเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีความสูงเท่ากันที่ 2.2 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.62 เปรียบเทียบความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางบนพื้นผิวขรุขระเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีความสูงเท่ากันที่ 2.2 เมตร



รูปที่ 5.63 เปรียบเทียบความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางบนพื้นผิวขรุขระมากเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีความสูงเท่ากันที่ 2.2 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีข้อสงสัยโปรดแจ้งมาที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศทางทหารลาดกระบัง

การเปรียบเทียบความผิดพลาดของสัญญาณรับที่ความสูงของสายอากาศด้านรับและส่ง 1.6 เมตร เท่ากัน นั้นพบว่าสัญญาณที่มาจากทิศทางตรงมีค่าแอมพลิจูดที่สูงที่สุด รองลงมาคือสัญญาณที่มาจากทิศทางสะท้อน และเมื่อนำสองสัญญาณที่มาจากสองทิศทางรวมกันแล้วพบว่าเกิดค่าแอมพลิจูดนั้นลดลงอย่างมาก เมื่อพิจารณาความผิดพลาดของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางในช่วงเวลาเดียวกัน พบว่าความผิดพลาดของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เมื่อสัญญาณนั้นสะท้อน ไปบนพื้นผิวขรุขระมาก ส่วนที่พื้นผิวขรุขระก็เกิดความผิดพลาดของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางเช่นเดียวกันแต่จะมีความชัดเจนน้อยกว่า ส่วนบนพื้นผิวเรียบนั้นจะมีความผิดพลาดของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางน้อยที่สุดหรือแทบจะไม่เกิดขึ้นเลย

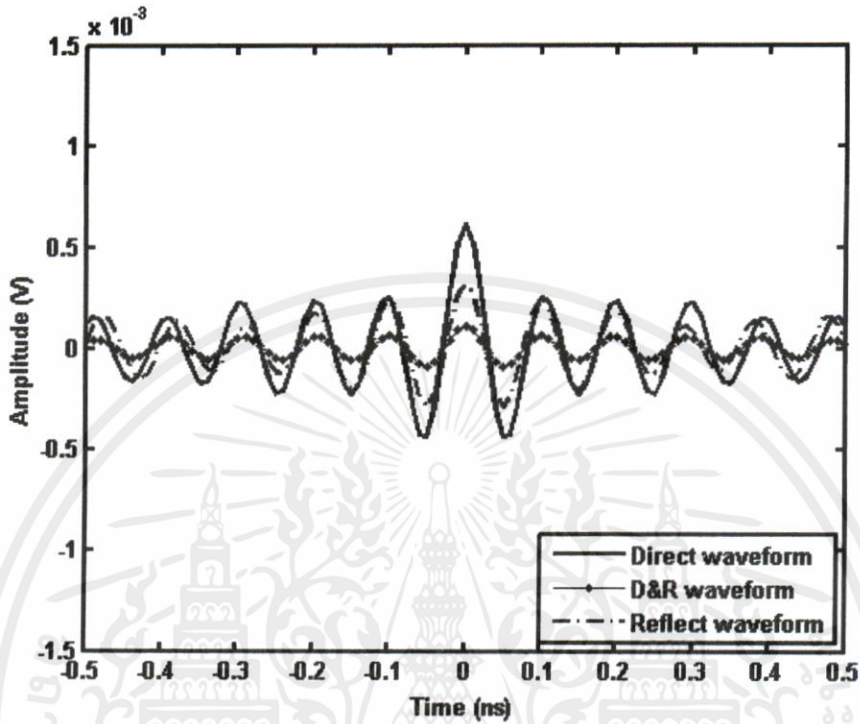
การเปรียบเทียบอัตราความผิดพลาดของบิตที่ความสูงของสายอากาศด้านรับและส่ง 1.9 เมตร เท่ากัน นั้นพบว่ามีความไวที่เหมือนกับที่ความสูง 1.6 เมตร เพียงแค่แอมพลิจูดของสัญญาณในแต่ละทิศทางจะมีขนาดลดลง ส่วนความผิดพลาดก็ยังมีลักษณะเช่นเดิม

การเปรียบเทียบอัตราความผิดพลาดของบิตที่ความสูงของสายอากาศด้านรับและส่ง 2.2 เมตร เท่ากัน นั้นพบว่ามีความไวที่เหมือนกับที่ความสูง 1.6 เมตร และ 1.9 เมตร เพียงแค่แอมพลิจูดของสัญญาณในแต่ละทิศทางจะมีขนาดลดลงมากที่สุดเมื่อเทียบกับ 2 กรณีแรก ส่วนความผิดพลาดก็ยังมีลักษณะเช่นเดิม

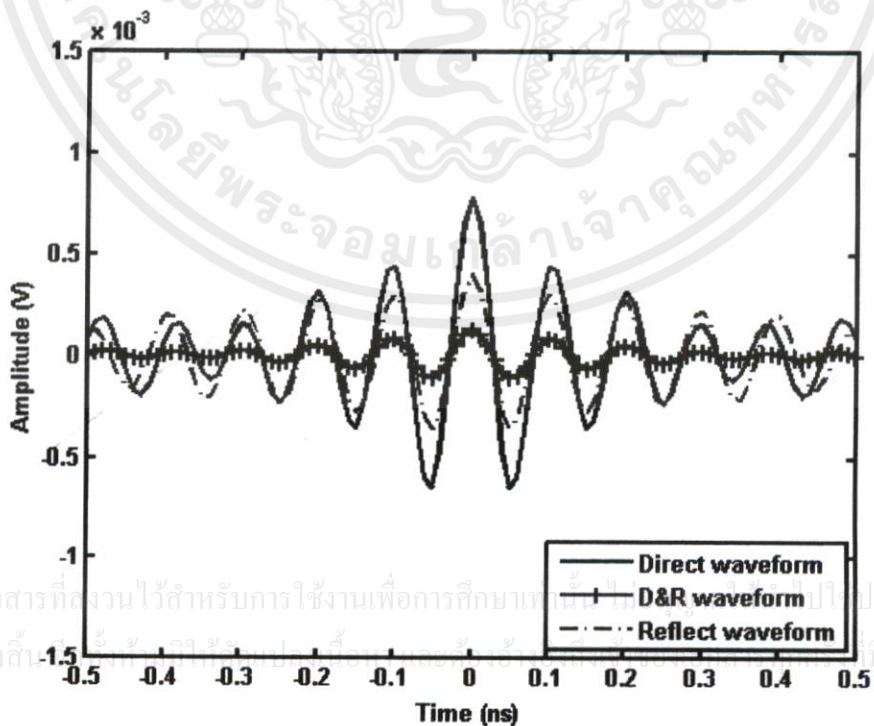
ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า เมื่อความสูงของสายอากาศเท่ากันความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการเปรียบเทียบของสัญญาณในแต่ละทิศทาง พบว่าเมื่อนำสัญญาณจากทิศทางตรงและทิศทางสะท้อนมารวมกันแล้วจะทำให้ประสิทธิภาพของสัญญาณลดลงในทุกๆ ตำแหน่งที่ทำการวัด ซึ่งจะเห็นจากขนาดแอมพลิจูดที่ลดลงของสัญญาณที่รวมกัน โดยการลดลงของประสิทธิภาพนี้จะทำให้เกิดการแทรกสอดขึ้นและไม่ว่าจะเป็นการสะท้อนจากพื้นผิวนิคใดก็ตามจะเกิดความผิดพลาดและขนาดของแอมพลิจูดลดลง โดยเฉพาะเมื่อพื้นผิวที่แตกต่างกันก็พบว่า เกิดการแทรกสอดของสัญญาณบนพื้นผิวแบบขรุขระมากนั้นมีค่าการแทรกสอดมากที่สุด เนื่องจากเกิดความผิดพลาดขึ้นมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

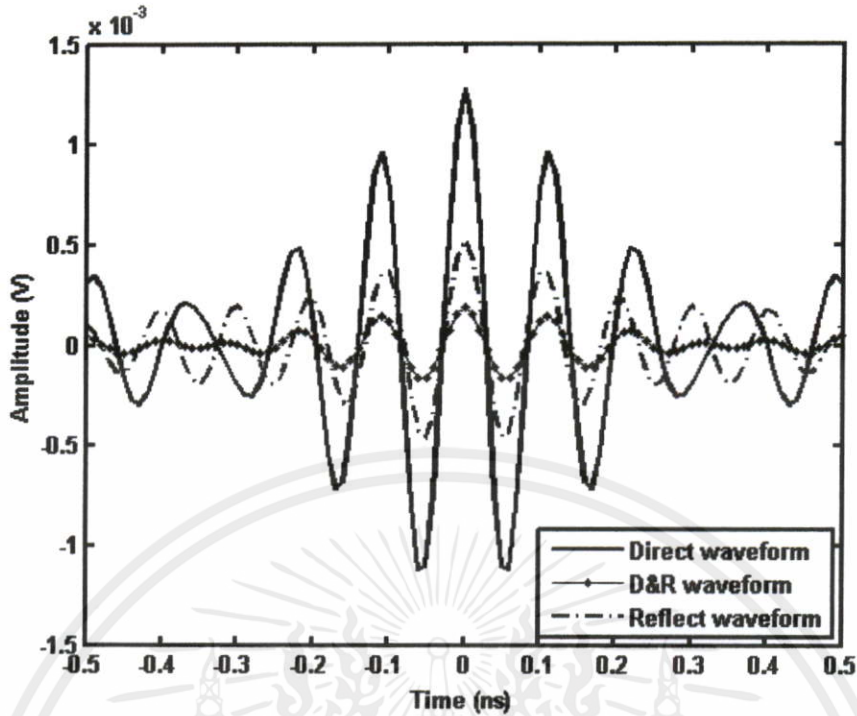
✦ การเปรียบเทียบของความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 1.6 เมตร และ 1.9 เมตร ตามลำดับ และสะท้อนไปบนพื้นผิวต่างๆ



รูปที่ 5.64 เปรียบเทียบความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางบนพื้นผิวเรียบเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 1.6 เมตร และ 1.9 เมตร ตามลำดับ

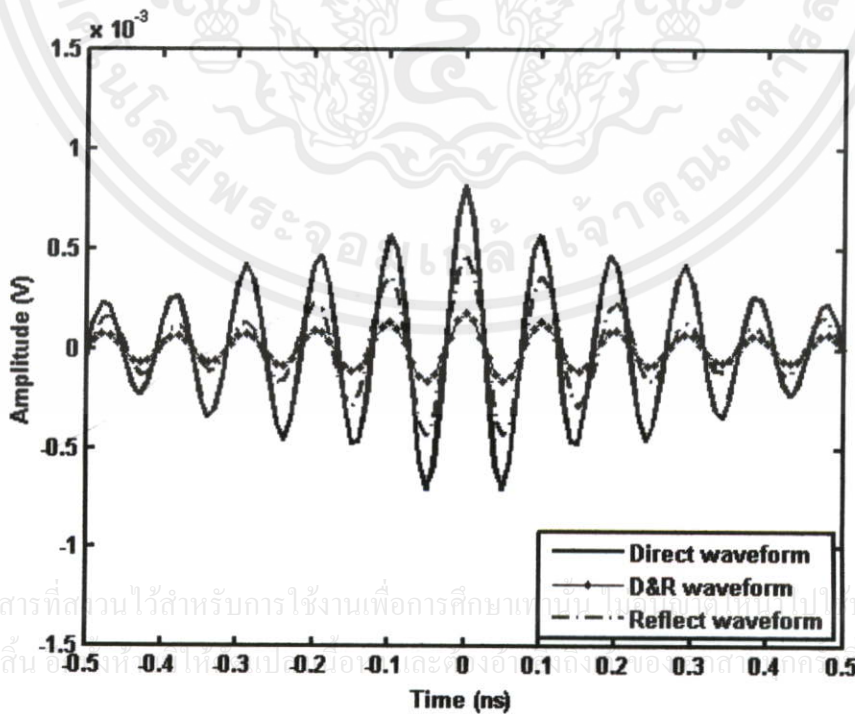


รูปที่ 5.65 เปรียบเทียบความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางบนพื้นผิวขรุขระเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 1.6 เมตร และ 1.9 เมตร ตามลำดับ

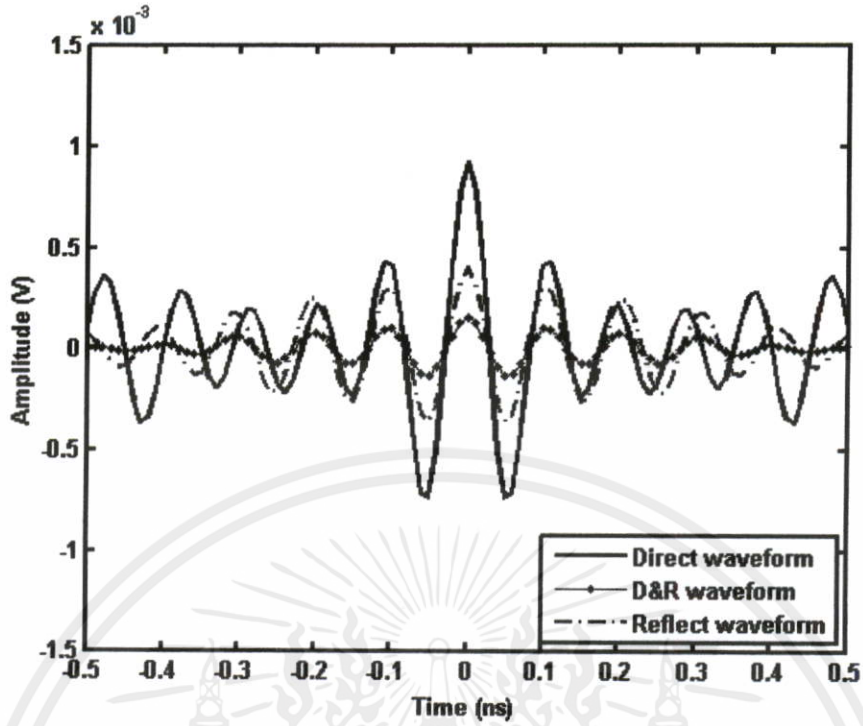


รูปที่ 5.66 การเปรียบเทียบความผิดเพี้ยนของสัญญาณที่รับได้บนพื้นผิวขรุขระมาก โดยกำหนดให้สายอากาศด้านส่งและด้านรับสูง 1.6 เมตร และ 1.9 เมตร ตามลำดับ

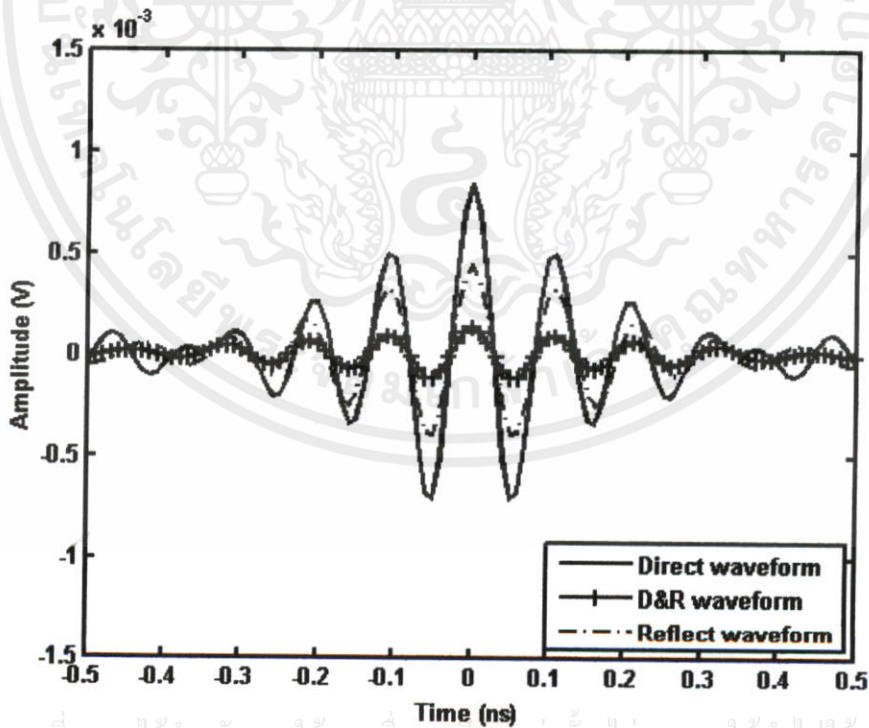
⊕ การเปรียบเทียบของความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 1.6 เมตร และ 2.2 เมตร ตามลำดับ และสะท้อนไปบนพื้นผิวต่างๆ



รูปที่ 5.67 เปรียบเทียบความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางบนพื้นผิวเรียบเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 1.6 เมตร และ 2.2 เมตร ตามลำดับ



รูปที่ 5.68 เปรียบเทียบความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางบนพื้นผิวขรุขระเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 1.6 เมตร และ 2.2 เมตร ตามลำดับ

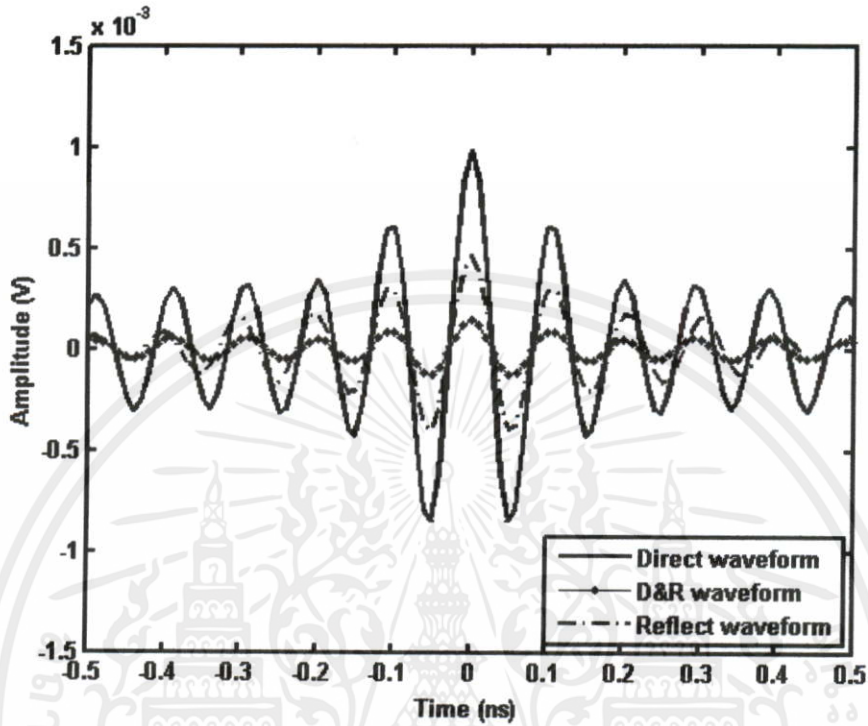


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

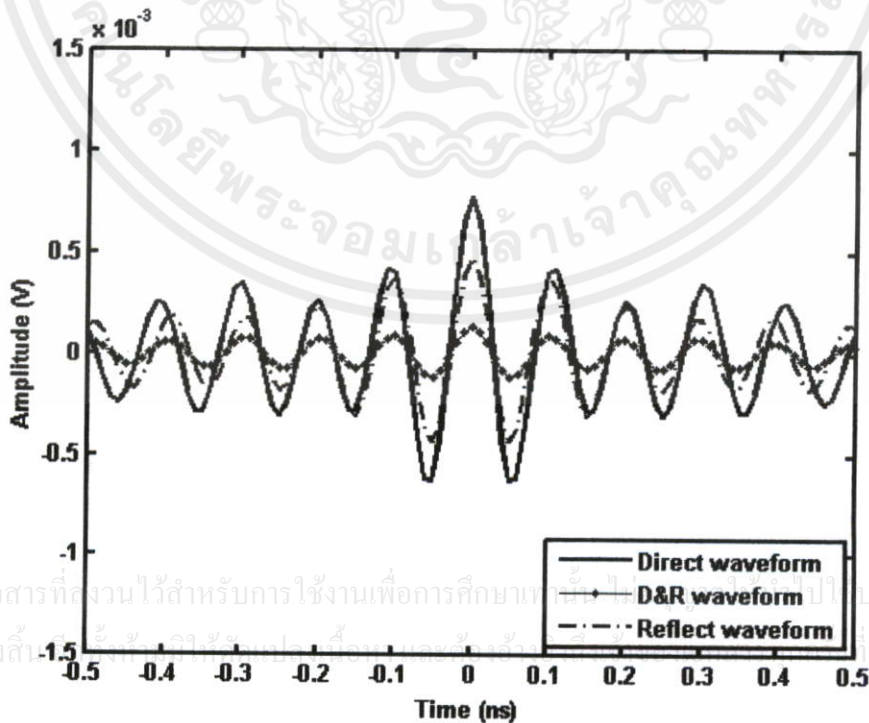
ไม่ว่ากรณีใดๆ รูปที่ 5.69 เปรียบเทียบความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางบนพื้นผิวขรุขระมากเมื่อ

สายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 1.6 เมตร และ 2.2 เมตร ตามลำดับ

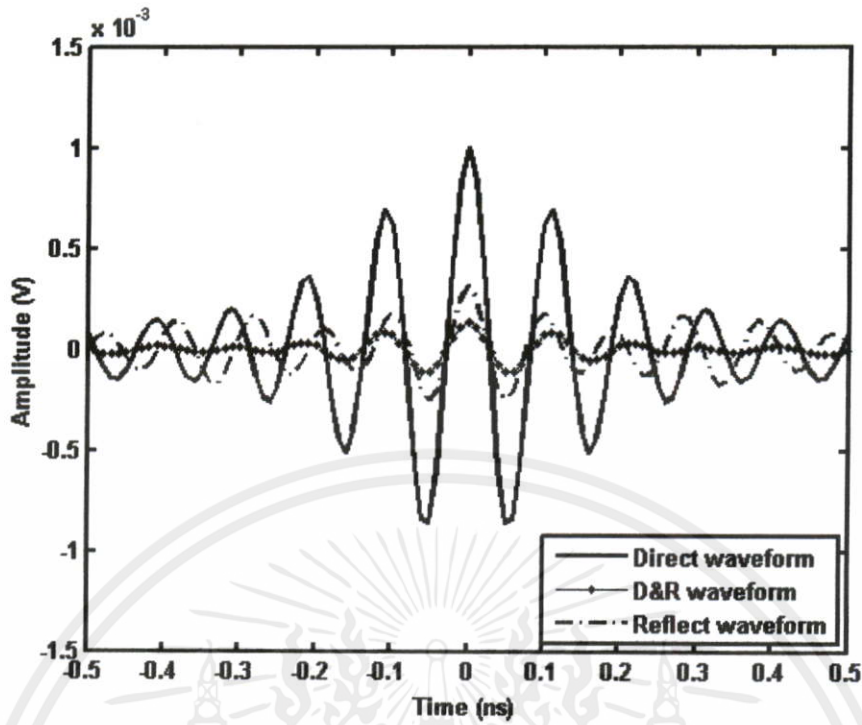
- ⊕ การเปรียบเทียบของความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 1.9 เมตร และ 1.6 เมตร ตามลำดับ และสะท้อนไปบนพื้นผิวต่างๆ



รูปที่ 5.70 เปรียบเทียบความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางบนพื้นผิวเรียบเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 1.9 เมตร และ 1.6 เมตร ตามลำดับ

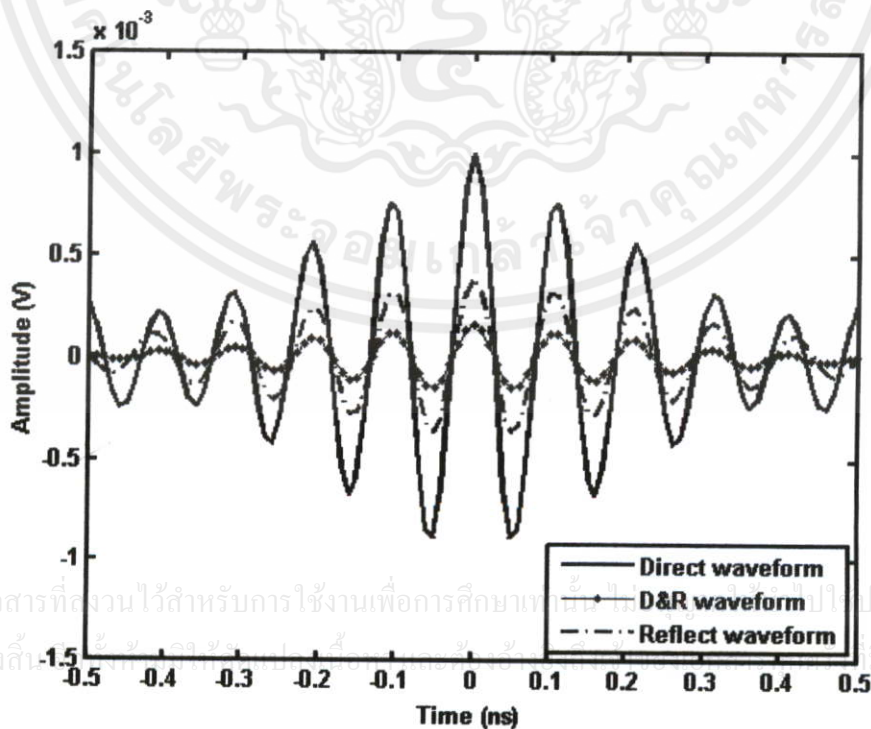


รูปที่ 5.71 เปรียบเทียบความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางบนพื้นผิวขรุขระเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 1.9 เมตร และ 1.6 เมตร ตามลำดับ

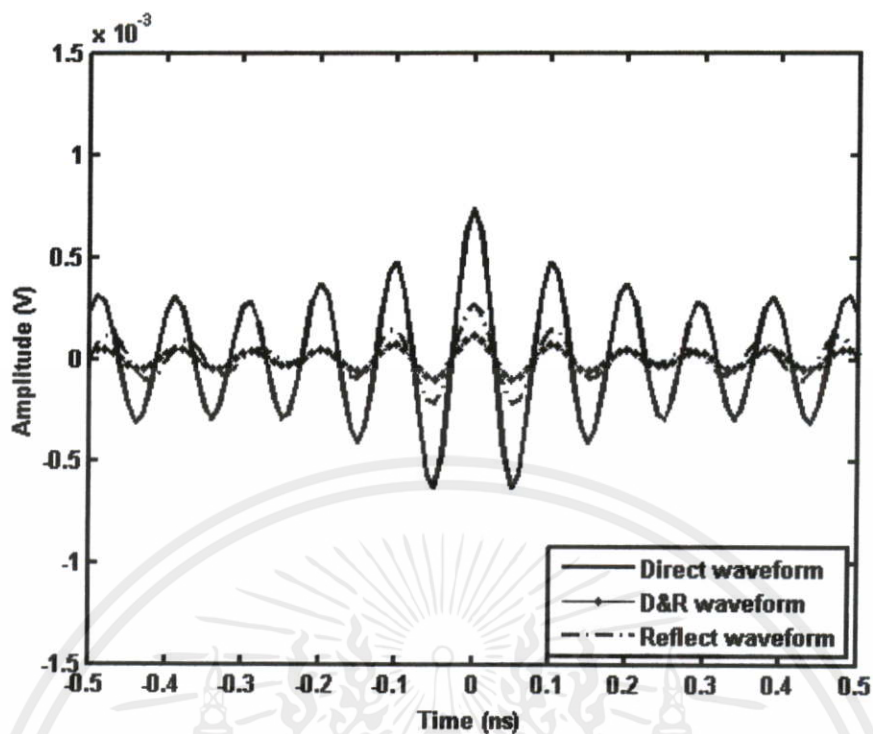


รูปที่ 5.72 เปรียบเทียบความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางบนพื้นผิวขรุขระมากเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 1.9 เมตร และ 1.6 เมตร ตามลำดับ

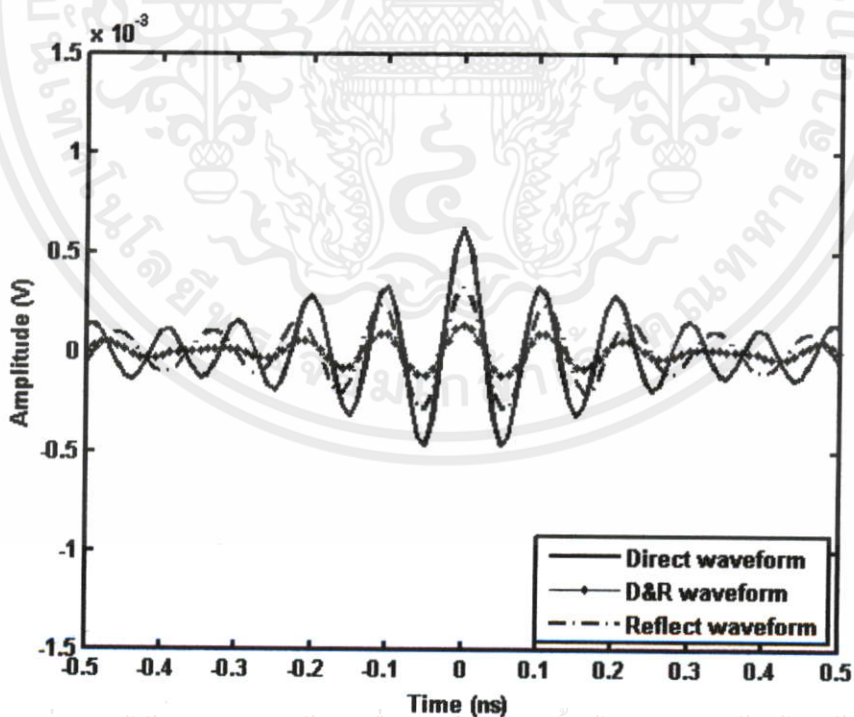
⊕ การเปรียบเทียบของความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 1.9 เมตร และ 2.2 เมตร ตามลำดับ และสะท้อนไปบนพื้นผิวต่างๆ



รูปที่ 5.73 เปรียบเทียบความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางบนพื้นผิวเรียบเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 1.9 เมตร และ 2.2 เมตร ตามลำดับ



รูปที่ 5.74 เปรียบเทียบความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางบนพื้นผิวขรุขระเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 1.9 เมตร และ 2.2 เมตร ตามลำดับ

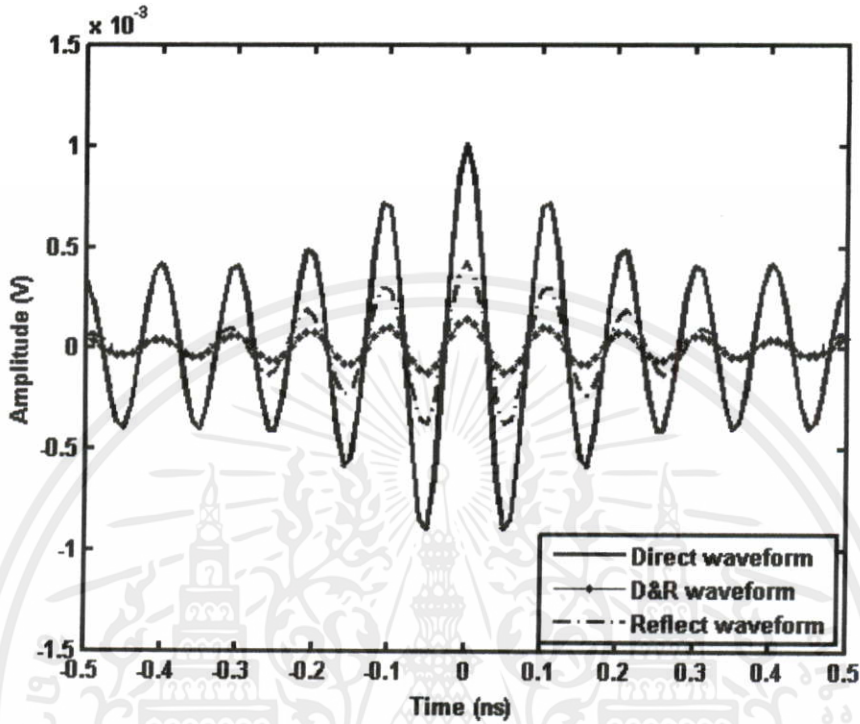


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

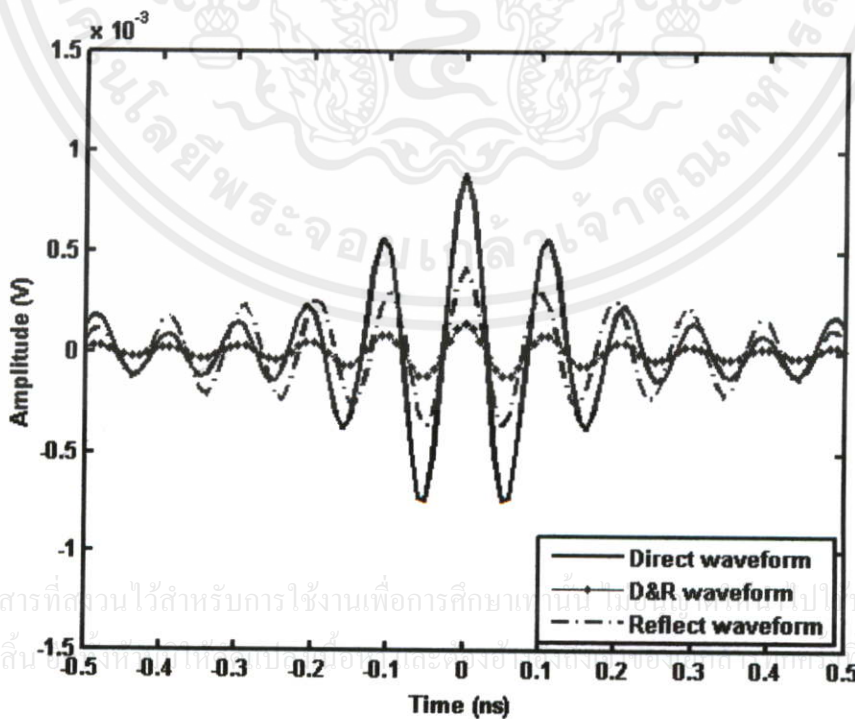
ไม่ว่ากรณีใด รูปที่ 5.75 เปรียบเทียบความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางบนพื้นผิวขรุขระที่เรียบเมื่อ

สายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 1.9 เมตร และ 2.2 เมตร ตามลำดับ

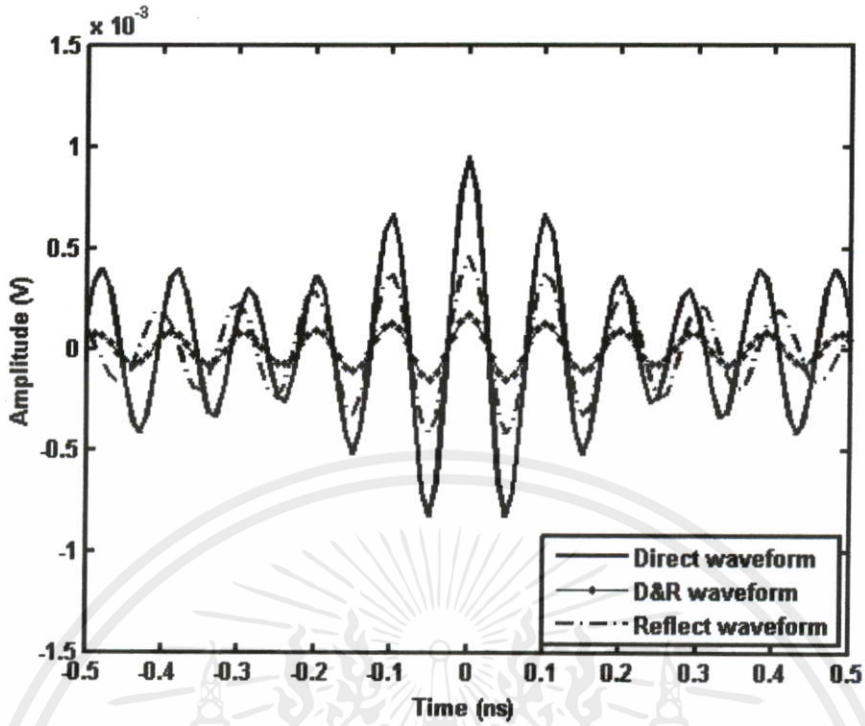
- ⊕ การเปรียบเทียบของความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 2.2 เมตร และ 1.6 เมตร ตามลำดับ และสะท้อนไปบนพื้นผิวต่างๆ



รูปที่ 5.76 เปรียบเทียบความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางบนพื้นผิวเรียบเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 2.2 เมตร และ 1.6 เมตร ตามลำดับ

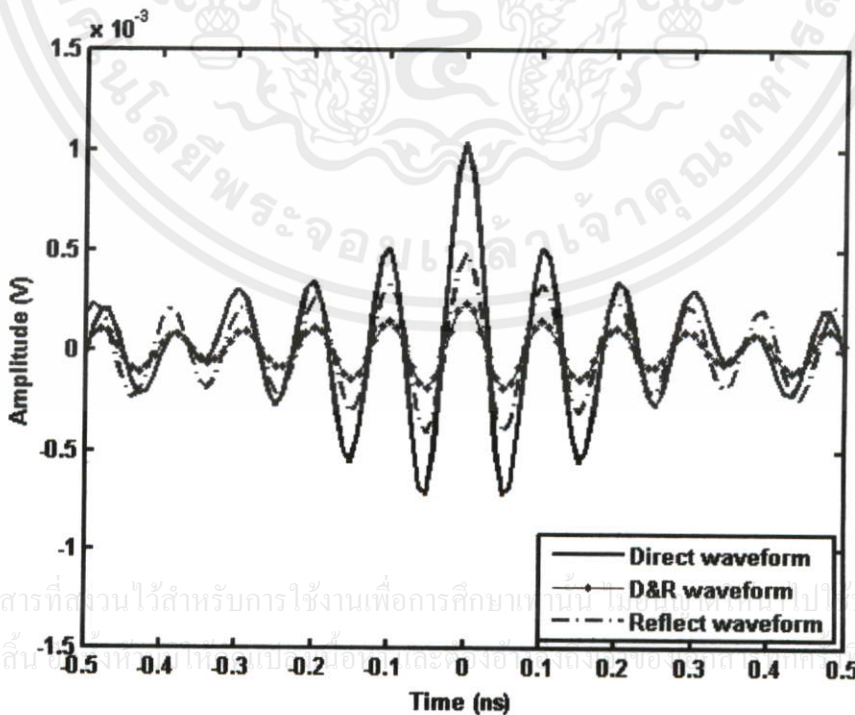


รูปที่ 5.77 เปรียบเทียบความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางบนพื้นผิวขรุขระเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 2.2 เมตร และ 1.6 เมตร ตามลำดับ

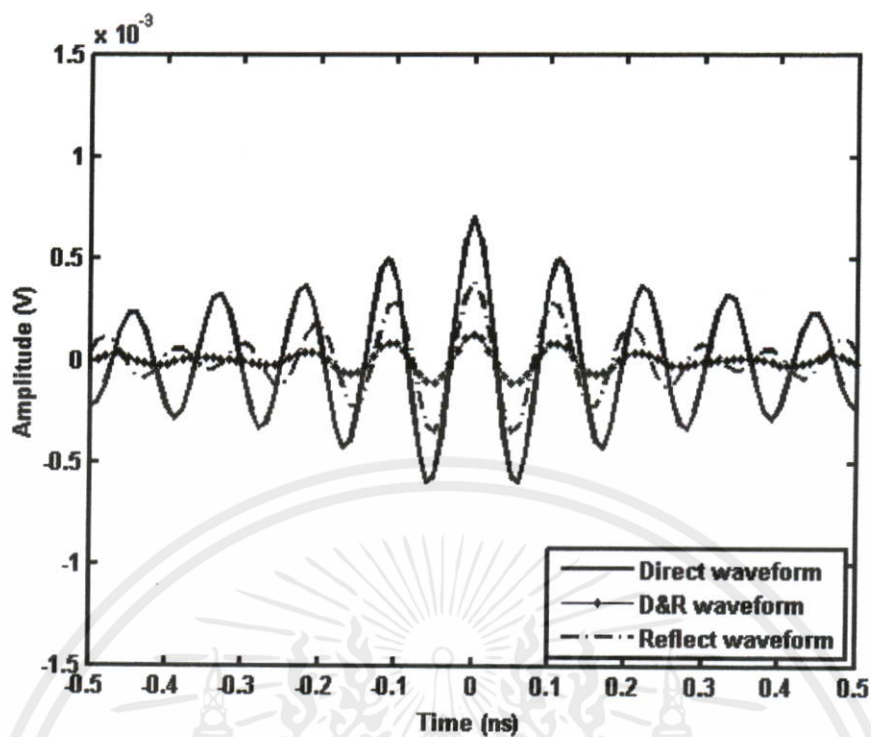


รูปที่ 5.78 เปรียบเทียบความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางบนพื้นผิวขรุขระมากเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 2.2 เมตร และ 1.6 เมตร ตามลำดับ

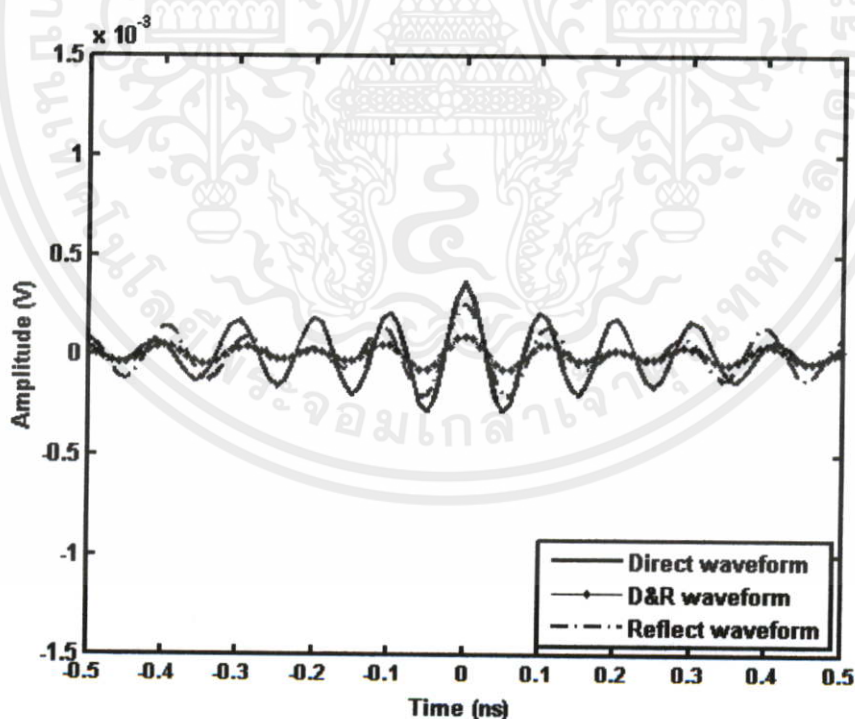
✦ การเปรียบเทียบของความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 2.2 เมตร และ 1.9 เมตร ตามลำดับ และสะท้อนไปบนพื้นผิวต่างๆ



รูปที่ 5.79 เปรียบเทียบความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางบนพื้นผิวเรียบเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 2.2 เมตร และ 1.9 เมตร ตามลำดับ



รูปที่ 5.80 เปรียบเทียบความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางบนพื้นผิวขรุขระเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 2.2 เมตร และ 1.9 เมตร ตามลำดับ



รูปที่ 5.81 เปรียบเทียบความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางบนพื้นผิวขรุขระมากเมื่อสายอากาศด้านส่งและด้านรับมีค่า 2.2 เมตร และ 1.9 เมตร ตามลำดับ

การเปรียบเทียบความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับที่ความสูงของสายอากาศไม่เท่ากัน นั้นพบว่าสัญญาณที่มาในทิศทางตรงมีค่าแอมพลิจูดที่สูงที่สุด รองลงมาคือสัญญาณที่มาจากทิศทางสะท้อน และเมื่อนำสองสัญญาณที่มาจากสองทิศทางรวมกันแล้วพบว่าเกิดค่าแอมพลิจูดนั้นลดลงอย่างมาก เมื่อพิจารณาความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางในช่วงเวลาเดียวกัน พบว่าความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เมื่อสัญญาณนั้นสะท้อนไปบนพื้นผิวขรุขระมาก ส่วนที่พื้นผิวขรุขระก็เกิดความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางเช่นเดียวกันแต่จะมีความชัดเจนน้อยกว่า ส่วนบนพื้นผิวเรียบนั้นจะมีความผิดเพี้ยนของสัญญาณรับในแต่ละทิศทางน้อยที่สุดหรือแทบจะไม่เกิดขึ้นเลย

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า เมื่อความสูงของสายอากาศเท่ากันความผิดเพี้ยนที่เกิดขึ้นจากการเปรียบเทียบของสัญญาณในแต่ละทิศทาง พบว่าเมื่อนำสัญญาณจากทิศทางตรงและทิศทางสะท้อนมารวมกันแล้วจะทำให้ประสิทธิภาพของสัญญาณลดลงในทุกๆ ตำแหน่งที่ทำกรวัด ซึ่งจะเห็นจากขนาดแอมพลิจูดที่ลดลงของสัญญาณที่รวมกัน โดยการลดลงของประสิทธิภาพนี้จะทำให้เกิดการแทรกสอดขึ้นและไม่ว่าจะเป็นการสะท้อนจากพื้นผิวนิดใดก็ตามจะเกิดความผิดเพี้ยนและขนาดของแอมพลิจูดลดลง โดยเฉพาะเมื่อพื้นผิวที่แตกต่างกันก็พบว่า เกิดการแทรกสอดของสัญญาณบนพื้นผิวแบบขรุขระมากนั้นมีค่าการแทรกสอดมากที่สุด เนื่องจากเกิดความผิดเพี้ยนขึ้นมากที่สุด

### 5.3 สรุป

ในบทนี้ได้แสดงผลจากการวัดและการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อหาผลกระทบจากการแทรกสอดของสัญญาณที่มาจากทิศทางพื้น โดยสัญญาณนั้นสะท้อนไปบนพื้น 3 ชนิด จากนั้นได้นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบค่าการแทรกสอดผ่านทางค่าพารามิเตอร์ คือ อัตราความผิดพลาดของบิต, การสูญเสียเชิงวิถี, และความผิดเพี้ยนของรูปคลื่น ซึ่งผลที่ได้ในแต่ละกรณีจะมีค่าที่แตกต่างกันไปตามแต่ละพื้นผิว และการปรับความสูงของสายอากาศ ซึ่งจะเห็นได้จากกราฟและการสรุปผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอถึงการศึกษากการแทรกสอดระหว่างสัญญาณทิศทางตรงและสัญญาณทิศทางสะท้อนจากพื้นผิวที่มีลักษณะแตกต่างกันถึง 3 ชนิด คือ ผิวเรียบ, ผิวขรุขระ, และ ผิวขรุขระมาก โดยในการวิเคราะห์นั้นได้ทำการตรวจสอบจากการวัดสัญญาณด้วยเครื่องวิเคราะห์ที่โครงข่ายแบบเวกเตอร์ซึ่งใช้สายอากาศรูดคู่เป็นสายอากาศในการทดลอง โดยพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการเปรียบเทียบค่าการแทรกสอดคือ ค่าอัตราความผิดพลาดของบิต, การสูญเสียเชิงวิถี, และความผิดเพี้ยนของรูปคลื่น ซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จะใช้เป็นตัวเปรียบเทียบการแทรกสอดของพื้นผิวและการปรับความสูงที่แตกต่างกัน ส่วนแบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้นจะมีลักษณะเหมือนกันในทุกพื้นผิว โดยในแต่ละแบบจำลองจะมีการวัดช่องสัญญาณของการส่งสัญญาณในระยะทางที่แตกต่างกันจาก 1 เมตร ถึง 10 เมตร และความสูงของสายอากาศก็จะมี การปรับไปตามเงื่อนไขที่กำหนด

#### 6.1 สรุปผลการวิจัย

ในการทดลองเพื่อหาค่าการแทรกสอดระหว่างสัญญาณที่มาจากทิศทางตรงและทิศทางสะท้อน ผ่านทางแบบจำลองที่ได้ออกแบบไว้ ผลที่ได้แบ่งไปตามพารามิเตอร์ที่ใช้ทดสอบ คือ

##### 6.1.1 อัตราความผิดพลาดของบิต

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพโดยใช้อัตราความผิดพลาดของบิตนั้น พบว่าสัญญาณทิศทางตรงนั้นมีค่าที่ดีที่สุด รองลงมาคือสัญญาณทิศทางสะท้อน แต่เมื่อนำสัญญาณทั้งสองทิศทางมารวมกันพบว่าประสิทธิภาพนั้นลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการแทรกสอดขึ้น

โดยการปรับความสูงของสายอากาศในลักษณะต่างๆ พบว่า เมื่อปรับความสูงของสายอากาศให้มีความสูงเท่ากันจะมีค่าอัตราความผิดพลาดของบิตที่ดีกว่าการปรับความสูงไม่เท่ากัน เมื่อพิจารณาอัตราความผิดพลาดของบิตที่อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่เท่ากันพบว่าสัญญาณที่รวมกันแล้วมีค่าเฉลี่ยโดยรวมจากทุกกรณี BER ประมาณ 0.1 ที่ SNR = 5 dB ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้

โดยลักษณะของพื้นผิวก็มีผลเช่นเดียวกัน เมื่อพิจารณาให้ละเอียดพบว่าพื้นผิวที่ขรุขระมากจะมีค่า BER ที่มากที่สุดในทุกกรณี แต่ค่า BER ที่ได้ก็มีค่าประมาณ 0.1 ที่ SNR = 5 dB ไม่ว่าจะวัดจุดทั้งขึ้น ลี้นซึ่งทั้งหมดนี้สอดคล้องกับเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ เช่นเดียวกัน ซึ่งก็ยังเป็นค่าที่ยอมรับได้

### 6.1.2 การสูญเสียเชิงวิถี

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพโดยใช้การสูญเสียเชิงวิถีนั้น พบว่าสัญญาณทิศทางตรงนั้นมีการสูญเสียเชิงวิถีที่น้อยที่สุด รองลงมาคือสัญญาณทิศทางสะท้อน แต่เมื่อนำสัญญาณทั้งสองทิศทางมารวมกันพบว่าการสูญเสียเชิงวิถีเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการแทรกสอดขึ้น

โดยการปรับความสูงของสายอากาศในลักษณะต่างๆ พบว่า เมื่อปรับความสูงของสายอากาศให้มีความสูงเท่ากันจะมีการสูญเสียเชิงวิถีจะสูญเสียน้อยกว่าการปรับความสูงไม่เท่ากัน เมื่อพิจารณาการสูญเสียเชิงวิถีของแต่ละทิศทางพบว่าค่าที่ได้นั้นอยู่ในช่วง 45 dB ถึง 75 dB เมื่อระยะทางมีค่าตั้งแต่ 1 เมตร ถึง 10 เมตร จากค่าที่คำนวณได้นี้ถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้ และเมื่อพิจารณาการสูญเสียเชิงวิถีของแต่ละทิศทาง ปรากฏว่าที่ระยะทางตั้งแต่ 1 เมตร ถึง 10 เมตร มีค่าแตกต่างกัน 20 dB ถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้เช่นกัน

โดยลักษณะของพื้นผิวก็มีผลที่มีแนวโน้มเดียวกัน คือที่พื้นผิวขรุขระมากนั้นพบว่าเกิดการสูญเสียเชิงวิถีที่สูงกว่าพื้นผิวอื่น เมื่อมีระยะทางเท่ากัน เนื่องจากพื้นผิวนี้อาจมีลักษณะที่ทำให้สัญญาณนั้นลดทอนลงได้มากเพราะพื้นผิวนั้นไม่สม่ำเสมอ

### 6.1.3 ความผิดเพี้ยนของรูปคลื่น

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพโดยใช้ความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นนั้น พบว่าสัญญาณทิศทางตรงนั้นมีแอมพลิจูดที่สูงที่สุด รองลงมาคือสัญญาณทิศทางสะท้อน แต่เมื่อนำสัญญาณทั้งสองทิศทางมารวมกันพบว่าแอมพลิจูดนั้นลดลงและเกิดความผิดเพี้ยนมากยิ่งขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการแทรกสอด

โดยการปรับความสูงของสายอากาศในลักษณะต่างๆ พบว่า เมื่อปรับความสูงของสายอากาศให้มีความสูงเท่ากันจะมีความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นที่ต่ำกว่าการปรับความสูงไม่เท่ากัน เมื่อพิจารณารูปคลื่นในช่วงเวลาเดียวกันพบว่าสัญญาณที่รวมกันแล้วจะมีรูปคลื่นที่ผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นในทิศทางตรงและเมื่อเวลามากขึ้นก็จะเห็นความผิดเพี้ยนของรูปคลื่น ได้อย่างชัดเจน

โดยลักษณะของพื้นผิวก็มีผลเช่นเดียวกัน เมื่อพิจารณาจะพบว่าพื้นผิวที่ขรุขระมากจะมีความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นที่มากที่สุดและมีค่าแอมพลิจูดที่ต่ำที่สุดเมื่อความสูงของสายอากาศทั้งสองด้านมีความสูงเท่ากัน

โดยสรุปจากผลการทดลองทั้งสามพารามิเตอร์ พบว่าเกิดการแทรกสอดระหว่างสัญญาณที่มาจากทิศทางตรงและที่มาจากทิศทางสะท้อนขึ้นจริง โดยความสูงที่ได้มีการปรับเปลี่ยนก็ส่งผลต่อการแทรกสอดเช่นเดียวกัน ซึ่งเมื่อสายอากาศมีความสูงเท่ากันก็จะเกิดการแทรกสอดที่น้อยกว่าการปรับสายอากาศไม่เท่ากัน ส่วนลักษณะของพื้นผิวนั้นก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดการแทรกสอดขึ้น โดยพื้นผิวที่มีความขรุขระมากขึ้นจะก่อให้เกิดการแทรกสอดที่มากขึ้นด้วย แต่อย่างไรก็ตาม

ตาม จากกระตือรือร้นการแทรกสอดที่ได้ศึกษานั้น พบว่าอยู่ในระดับที่ปลอดภัยและไม่ส่งผลกระทบต่อการศึกษาอย่างมาก

## 6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา

จากแนวคิดที่ได้ศึกษาผลกระทบจากการแทรกสอดของสัญญาณที่สะท้อนพื้น ซึ่ง ได้แสดงไว้ในวิทยานิพนธ์เรื่องนี้ พบว่าการแทรกสอดของสัญญาณจากสองทิศทางนั้นมีผลแตกต่างกันบนพื้นผิวที่มีลักษณะแตกต่างกันไป ผู้เขียนเห็นว่า ในการพิจารณาการแทรกสอดในครั้งต่อไปควรมีการเปลี่ยนชนิดของพื้นผิวเป็นชนิดอื่นเพื่อศึกษาว่าการแทรกสอดที่เกิดขึ้นนั้นมีลักษณะอย่างไร ยิ่งไปกว่านั้นการแทรกสอดในระบบการสื่อสารแบบไร้สายนั้นเกิดจากสัญญาณที่มาจากหลายทิศทาง (Multipath) เพื่อให้การศึกษานั้นสมบูรณ์ยิ่งขึ้นควรมีการศึกษาผลกระทบจากทิศทางอื่นเพิ่มเติมเข้าไปด้วย ซึ่งสามารถใช้แบบจำลองที่ได้เสนอขึ้นมาเป็นแบบอย่างได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Ian Oppermann, Matti Hamalainen and Jari Linatti, **“UWB Theory and Applications”**  
John Wiley & Sons, Ltd. 2004.
- [2] IEEE Standard 802.15.1TM, June14, 2002.  
[http://standard.ieee.org/getieee802/download/802.15.1-2002\\_sectionone.pdf](http://standard.ieee.org/getieee802/download/802.15.1-2002_sectionone.pdf)
- [3] Federal Communication Commission, **“Revision of part 15 of the commission’s rules regarding UWB Transmission Systems,”** First Report, FCC 02-48, Apr.2002
- [4] P. Kositsakul and S. Promwong, **“A Study of Interference Signal of Ultra Wideband to Wireless Local Area Network,”** ECTI, vol. 2, pp. 935 - 938, May. 2007.
- [5] P. Kositsakul and S. Promwong, **“Interference on Ultra Wideband Radio Propagation Channel with Two-path Model,”** JICT2007, vol. 1, pp. 233-237, Dec. 2007.
- [6] M. Ghavami, L. B. Michael, R. Kohno, **“Ultra Wideband Signals and Systems in Communication Engineering,”** John Wiley & Sons Ltd. 2004.
- [7] Rappaport, T. S. **“Wireless Communications: Principles and Practice (2<sup>nd</sup> Ed),”** Prentice Hall, NJ. 2002.
- [8] C.A. Balanis, **“Advance Engineering Electromagnetics,”** John Wiley and Son, 1989.
- [9] H. T. Friis, **“A Note on a Simple Transmission Formula,”** *Proc. IRE*, Vol 34, no 5, pp. 254-256, May 1946.
- [10] S. Promwong and W. Hachitani, and J. Takada, **“Free Space Link Budget Evaluation of UWBIR Systems,”** 2004 International Workshop on Ultra Wideband Systems Joint with Conference on Ultra Wideband Systems and Technology (UWBST&IWUWBS), pp. 312–316, May 2004.
- [11] S. Promwong, Wataru Hachitani, Jun-ichi Takada, P. Supanakoon and P. Tangtisanon. **“Experimental Study of Ultra wideband Transmission Based on Friis’ Transmission Formula.”** 3rd International Symposium on Communication and Information Technologies (ISCIT) 2003, pp. 467-470, Sept. 2003.
- [12] J. Takada, S. Promwong and W. Hachitani, **“Extension of Friis’ Transmission Formula for UWB Systems,”** IEICE Tech. Rep., May 2003.
- [13] S. Promwong, J. Takada, P. Supanakoon, and P. Tangtisanon, **“Theoretical Ground Reflection Model for UWB Communication Systems”**, ISCIT 2004.

- [14] K.Siwia, D.McKeown, "Ultra wideband radio technology", John Wiley-Sons., Ltd, 2004.
- [15] Constantine A. Balanis. **Advanced Engineering Electromagnetics**. New York: John Wiley & Sons Ltd. 1989.
- [16] S. Promwong, J. Takada, P. Supanakorn, M. Chamchoy, S. Tanchatikal and P. Rawiwan, "Measurement results of freespace transmission characteristic for Ultra wideband channel model", EECON 27, 2004
- [17] Simon R. Saunders. **Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems**. England John Wiley & Sons Ltd. 1999.
- [18] S. Promwong, Jun-ichi Takada, P. Supanakoon and P.Tangtisanon, "Path loss and matched filter Gain of Free space and Ground Reflection Channels for UWB Radio Systems," IEEE TENCON 2004 on Analog and Digital Techniques in Electrical Engineering, pp. 125-128, Nov. 2004.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

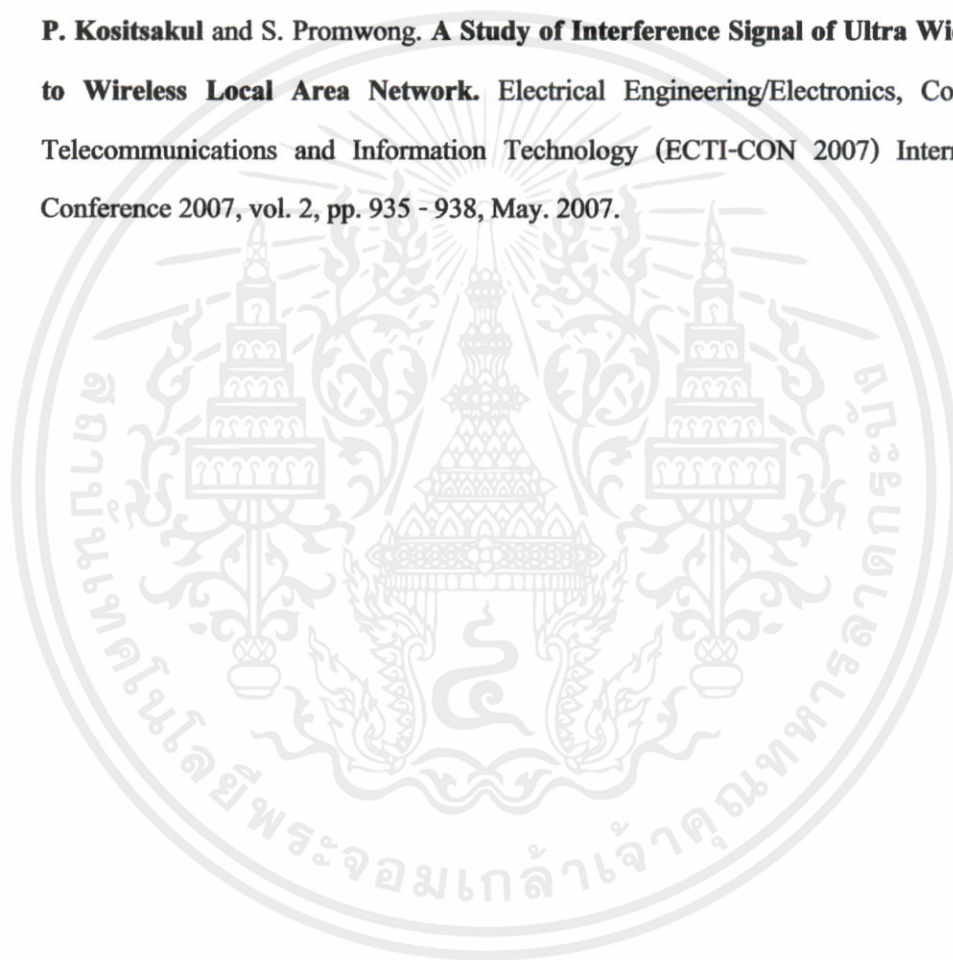


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก.

### ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

- [1] **P. Kositsakul and S. Promwong. Interference on Ultra Wideband Radio Propagation Channel with Two-path Model.** The 1st Joint International Conference on Information Communication Technology (JICT2007), vol. 1, pp. 233-237, Dec. 2007.
- [2] **P. Kositsakul and S. Promwong. A Study of Interference Signal of Ultra Wideband to Wireless Local Area Network.** Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON 2007) International Conference 2007, vol. 2, pp. 935 - 938, May. 2007.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

JICT  
2007

# Proceedings

## Joint International Conference on Information Communication Technology



JICA



TOKAI  
UNIVERSITY



MEIJI  
UNIVERSITY

ECTI  
Association

日本シミュレーション学会  
JSST  
Japan Society for Simulation Technology

19-22 December 2007  
Donchan Palace Hotel, Vientiane, Lao PDR



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# INTERFERENCE ON ULTRA WIDEBAND RADIO PROPAGATION CHANNEL WITH TWO-PATH MODEL

Pathamavadee Kositsakul and Sathaporn Promwong

Department of Information Engineering, Faculty of Engineering  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.  
E-mail: oui\_ley@hotmail.com and kpsathap@kmitl.ac.th

## ABSTRACT

In this paper, we study about the interference from ground reflection to direct path in ultra wideband (UWB) system. This study is based on two path model. We use passband rectangular pulse with specific center frequency and bandwidth for transmitted signal. Complex form of Friis' transmission formula is applied for the UWB ground reflection channel and we use the matched filter to help us analyze the signal clearly. After that we will compare the received waveforms and use the bit error rate (BER) and path loss value to explain the characteristic of effect from ground reflection.

## 1. INTRODUCTION

Recently, UWB radio technology has become an important topic for microwave communication. UWB is different from other radio frequency (RF) technologies. Instead of using a narrow carrier frequency, UWB transmits pulses of power in the range of the ultra wide frequency spectrum. The Federal Communication Commission (FCC) [1], in US specified that UWB has a frequency spectrum ranging from 3.1 GHz to 10.6 GHz. The FCC defined the UWB 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 signal is considered to be noise for other communication systems because its power spectrum is below the noise level. The UWB receiver collects the power of the received signal to rebuild the pulse. Therefore, UWB radio technology can exist with other RF technologies without interference. Moreover, UWB radio technology is an ideal candidate that can be utilized for commercial, short-range, low power, low cost indoor communication systems such as wireless personal area network (WPANs)

The Friis' transmission formula [2] is widely used to calculate free space path loss for narrow band system. The complex form Friis' transmission formula and the use of matched filter were developed for UWB systems [3]. The distortion of waveform, matched filter gain of the free space and ground reflection channels for UWB radio systems are proposed. The passband rectangular pulse with specific center frequency and bandwidth is used as the transmitted signal. Complex form Friis' transmission formula is used for the UWB channel. The received signal is evaluated.

In the closed form expressions of UWB path loss for free space channel [4] and ground reflection model [5]-[6]

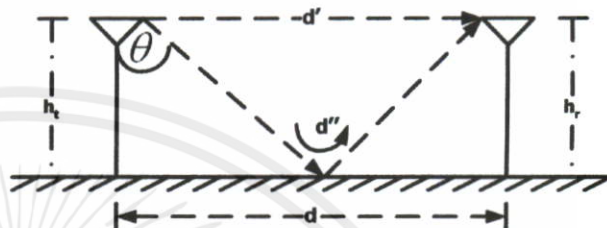


Figure 1. Two path model.

as depicted in Fig. 1, there are several topics doing a research such as waveform polarizations, ground characteristics and rms delay spread. However, they did not consider the interference from the ground reflection to direct path. The purpose of this paper is to find the interference that affects from ground reflection. We will explain this effect in BER form, path loss value and will show the distortion of the received waveform to support our assumption. For the next section is the theory and two path model used in transmission side. Section III, we describe about method and instrument setup in the experiment. About the result and the conclusion, we provide in section IV and V respectively.

## 2. THEORY OF UWB TRANSMISSION SYSTEM

### 2.1. Free space model

For the UWB free space channel, the complex form Friis' transmission formula is used [2]. The transmitting (Tx) and receiving (Rx) antennas are considered to be isotropic antennas. Hence, the Friis' transfer function can be written by

$$H_{\text{Friis}}(f) = H_f(f)H_t(f) \cdot H_r(f) \quad (1)$$

The free space transfer function  $H_f$  that we use is present in equation (2)

$$H_f(f) = \frac{1}{4\pi|f|t_0} \exp^{-j2\pi ft_0}, \quad (2)$$

where  $t_0 = d/c$  is the delay time.  $d$  is the transmitter-receiver (TR) separation distance and  $c$  is the velocity of light.

At the receiver, the matched filter  $H_{\text{MF}}(f)$  is introduced in equation (3) to maximize the signal-to-noise ratio (SNR)

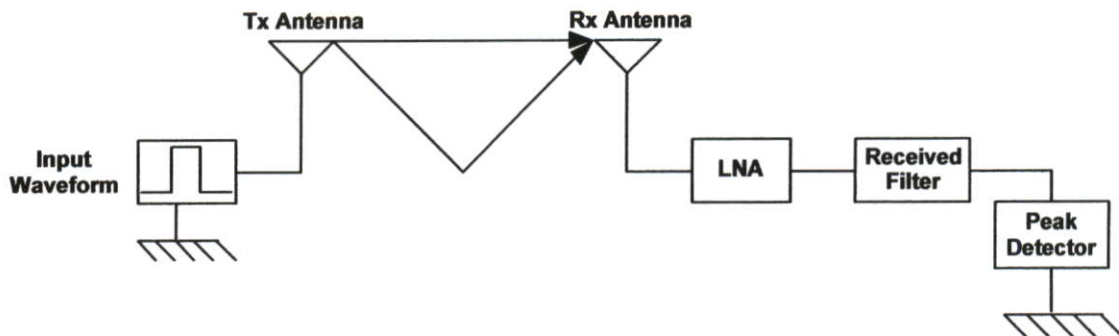


Figure 2. Block diagram of system analysis for UWB signal.

of the receiver output, as shown in Fig. 2.

$$H_{MF}(f) = \frac{H_{e-Friis}^*(f)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H_{e-Friis}(f)|^2 df}}, \quad (3)$$

which satisfies the following constant noise output power condition according to equation (4)

$$\int_{-\infty}^{\infty} |H_{MF}(f)|^2 df = 1 \quad (4)$$

The received input voltage  $v_r(t)$  of free space model is given as

$$v_r(t) = \int_{-\infty}^{\infty} H_t(f, d) V_t(f) \exp^{-j2\pi ft} df, \quad (5)$$

where  $V_t(f)$  is the spectral density of the transmitted signal that is calculated by using Fourier transform in time domain waveform

$$V_t(f) = \int_{-\infty}^{\infty} v_t(t) \exp^{-j2\pi ft} dt, \quad (6)$$

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

$$\begin{aligned} v_{MF}(t) &= h_{e-Friis}(t) * h_{MF}(t) \\ &= \frac{h_{e-Friis}(t) * h_{e-Friis}(-t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} h_{e-Friis}^2(t) dt}} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} V_{MF}(f) &= H_{e-Friis}(f) H_{MF}(f) \\ &= \frac{|H_{e-Friis}(f)|^2}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H_{e-Friis}(f)|^2 df}} \end{aligned} \quad (8)$$

taking its maximum as

$$\begin{aligned} \max_t v_{MF}(t) &= \int_{-\infty}^{\infty} V_{MF}(f) df \\ &= \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H_{e-Friis}(f)|^2 df}. \end{aligned} \quad (9)$$

Equation (9) 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.

## 2.2. Ground reflection channel

The ground reflection (2-path) model considers the direct and reflect paths as shown in Fig. 1. The distance of the direct and reflect paths are  $d'$  and  $d''$  and the transmitter-receiver (T-R) separation distance is  $d$  respectively. The transmitter (Tx) and receiver (Rx) antenna heights are  $h_t$  and  $h_r$  related to [7]

$$d' = \sqrt{(h_t - h_r)^2 + d^2} \quad (10)$$

$$d'' = \sqrt{(h_t + h_r)^2 + d^2} \quad (11)$$

The frequency transfer function of the direct path  $H_d$  is given [4]

$$H_d(f) = \frac{1}{4\pi|f|t'} \exp^{-j2\pi ft'} \quad (12)$$

where  $t' = d'/c$  is the delayed time of the direct path and  $c$  is the velocity of light.

The frequency transfer function of the reflection path of horizontal and vertical polarizations,  $H_{r,\parallel}$  and  $H_{r,\perp}$  can be expressed as [5]-[6]

$$H_{r,\parallel}(f) = \Gamma_{\parallel} \frac{1}{4\pi|f|t''} \exp^{-j2\pi ft''} \quad (13)$$

$$H_{r,\perp}(f) = \Gamma_{\perp} \frac{1}{4\pi|f|t''} \exp^{-j2\pi ft''} \quad (14)$$

where  $\Gamma_{\parallel}$  and  $\Gamma_{\perp}$  are the reflection coefficients of horizontal and vertical polarizations, respectively and  $t'' = d''/c$  is the delayed time of the reflection path.

The reflection coefficients of horizontal and vertical polarizations are defined as [8]

$$\Gamma_{\parallel} = \frac{\cos\theta - \sqrt{\frac{1}{\epsilon_r} - \frac{1}{\epsilon_r^2} \sin^2\theta}}{\cos\theta + \sqrt{\frac{1}{\epsilon_r} - \frac{1}{\epsilon_r^2} \sin^2\theta}}, \quad (15)$$

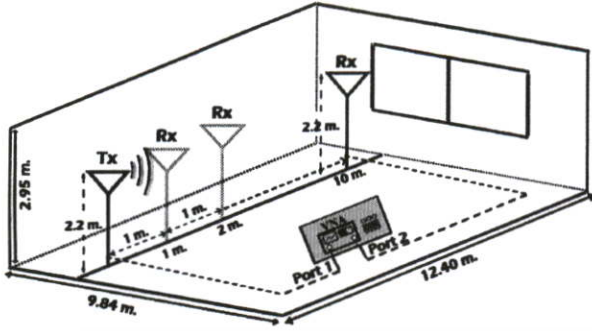


Figure 3. Experiment setup.

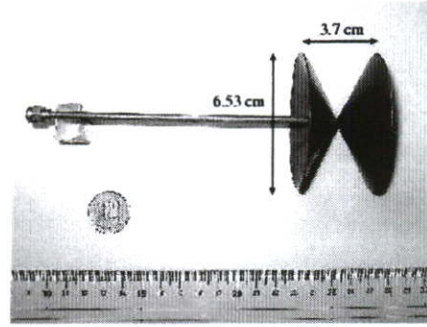


Figure 4. Biconical antenna structure.

$$\Gamma_{\perp} = \frac{\cos\theta - \sqrt{\epsilon_r - \sin^2\theta}}{\cos\theta + \sqrt{\epsilon_r - \sin^2\theta}}, \quad (16)$$

where  $\epsilon_r$  is the relative permittivity of the ground and  $\theta$  is the incident angle. From the Fig. 1, the incident angle can be calculated by using

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{d}{h_t + h_r}\right). \quad (17)$$

Defining of the UWB path loss in the free space channel, PL is the ratio between the maximum amplitude of the transmitted and received signal waveforms. The UWB free space path loss in dB can be derived as shown below

$$PL(d)[dB] = -20 \log \left[ \frac{\max|v_t(t)|}{\max|v_r(t)|} \right] \quad (18)$$

### 3. EXPERIMENTAL DESCRIPTION

#### 3.1. Measurement model

For instrument setup, we arrange the antenna in horizontal polarization angle and the characteristics of ground is good ground that is  $\epsilon_r = 25$ . The separation between transmitter and receiver is from 1 to 10 meter as depicted in Fig. 3. It is operated in indoor environment. For generating signal, we use vector network analyzer machine (VNA) to create the transmitted signal at the port 1 and to collect it at the port 2. We bring the data from VNA and pass it through the matched filter. The received pulse from the matched filter will be divided into two paths that is direct and the reflect paths. After that, they are calculated them to find the BER and the path loss. Moreover, we will compare the received signal to find their distortion.

#### 3.2. Antenna under test

In this experiment, Biconical antenna with the maximum diameter of 65.3 m.m. and the length of 37 m.m. is used in both of side as the standard antenna and as AUT [9]. Its characteristics can be illustrated as Fig. 4.

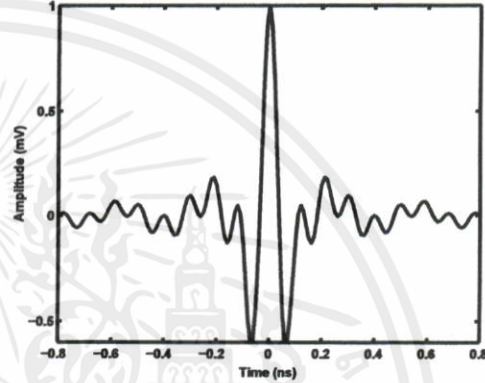


Figure 5. The transmitted signal waveform of UWB.

#### 3.3. Signal waveform

The expression of this pulse in time domain used for transmission  $v_t$  and its spectral density function  $V_t$  are

$$v_t(t) = \frac{1}{f_b} \left[ \begin{matrix} f_{\max} \text{sinc}(2f_{\max}t) \\ -f_{\min} \text{sinc}(2f_{\min}t) \end{matrix} \right], \quad (19)$$

$$V_t(f) = \begin{cases} \frac{1}{2f_b} & ||f| - f_c| \leq \frac{f_b}{2} \\ 0 & ||f| - f_c| \geq \frac{f_b}{2} \end{cases} \quad (20)$$

Table 1. Experimental parameters

Parameter	Value
Center frequency	6.85 GHz
Spectral bandwidth	7.50 GHz
Frequency range	3 GHz ~ 11 GHz
Number of frequency points	801
Tx antenna height	2.2 m
Rx antenna height	2.2 m
Distance between Tx and Rx	1 to 10 m
Ground characteristics	$\epsilon_r = 25$
Antenna type	Biconical

where  $t$  represents the time duration.  $f$  is a frequency and  $f_c$  is a center frequency,  $f_b$  is a spectral bandwidth. When  $f_{\min} = f_c - \frac{f_b}{2}$  is minimum frequency and  $f_{\max} = f_c + \frac{f_b}{2}$  is maximum frequency, where  $\text{sinc}(x) = \frac{\sin(\pi x)}{\pi x}$ . The UWB transmitted signal is the passband rectangular pulse for both free space and ground reflection channels as shown in Fig. 5.

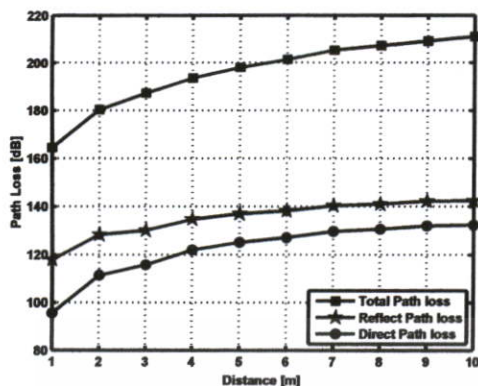


Figure 6. Path loss from the three paths.

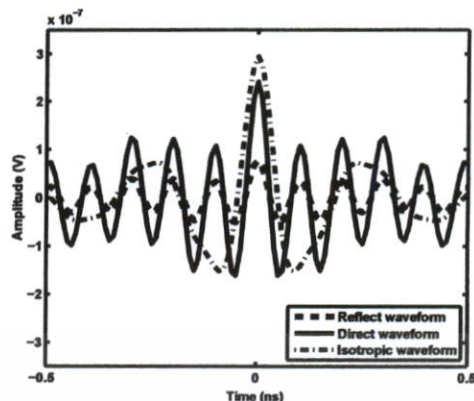


Figure 8. Optimum signal waveform.

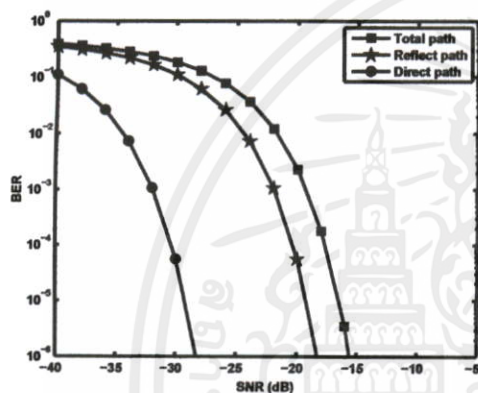


Figure 7. Bit error rate of three paths.

### 3.4. Parameters

For this paper, the path loss, the BER and the received waveform is estimated by using the parameters from the table 1. In this table, it has all details of parameter necessary for running this research.

## 4. RESULTS AND DISCUSSION

From the Fig. 6 shows that, path loss from the three paths are total, reflect and direct paths with the separation of the transmitted and the received antennas from 1 to 10 meter. From its result, path loss value has increased along the distance in all of paths. The direct path signal has minimal loss when compared to the other two paths and the total path signal has maximum one. It means that when the direct signal and reflect signal are combined, they make more loss in total path.

For Fig. 7 is BER chart. We will compare the three paths in BER as the same of path loss. The result shows that the signal from the direct path has lower BER than reflect and total paths. For the greatest BER is the total path, which these results is corresponding to the results of the path loss.

The last result is a comparison of the received waveform coming from the three paths. In Fig. 8, the received waveform of the isotropic path is the best detection of all paths

since it is not interfered from the noise in the channel. Additionally, received waveform from reflection path is the worst. Therefore, from investigation on received waveform, it supports us to explain that how the interference can occur. When we send the signal through the channel, it can be affected from the noise and can be made more distortion.

## 5. CONCLUSIONS

In this paper, the path loss and the BER is considered to estimate the interference from the direct and the reflect ground. Furthermore, we compare the received signal coming from three sources to find the distortion results. From these estimation results, we can clearly see the effect of the reflect signal to direct signal making more error to the total path. For example, in BER case, direct and reflect BER are lower than total path while total BER has more different than the others, which means that when transmitted signal is divided into two paths, they can cause the interference to each other resulting in more BER in total signal.

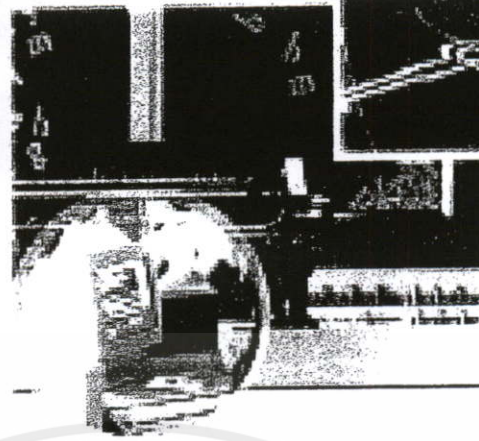
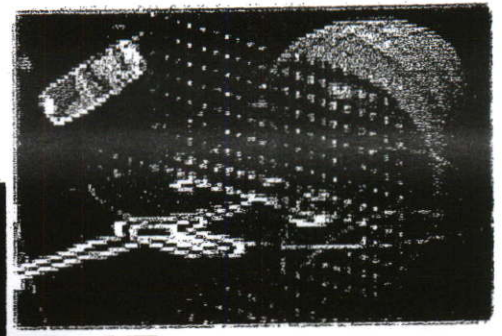
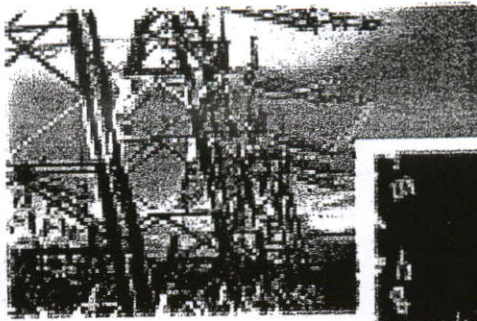
## 6. REFERENCES

- [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] H.T. Friis, A Note on a Simple Transmission Formula, Proc. IRE, Vol 34, no 5, pp. 254-256, May 1946.
- [3] S. Promwong, Wataru Hachitani, Jun-ichi Takada, P. Supanakoon and P.Tangtisanon, "Experimental Study of Ultra wideband Transmission Based on Friis' Transmission Formula," 3rd International Symposium on Communication and Information Technologies (ISCIT) 2003, pp. 467-470, Sept. 2003.
- [4] S. Promwong, Jun-ichi Takada, P. Supanakoon and P.Tangtisanon, "Path Loss and Matched Filter Gain for UWB System," 2004 International Symposium on Antenna and Propagation (ISAP), pp. 97-100, Aug. 2004.
- [5] S. Promwong, Jun-ichi Takada, P. Supanakoon and

- P.Tangtisanon, "Theoretical Ground Reflection Model for UWB Communication Systems" International Symposium on Communication and Information Technologies (ISCIT) 2003, pp. 1208-1212, Oct. 2004.
- [6] S. Promwong, Jun-ichi Takada, P. Supanakoon and P.Tangtisanon, "Path loss and matched filter Gain of Free space and Ground Reflection Channels for UWB Radio Systems," IEEE TENCON 2004 on Analog and Digital Techniques in Electrical Engineering, pp. 125-128, Nov. 2004.
- [7] T.S. Rappaport, Wireless Communications: Principle and Practice., Prentice Hall, 2002.
- [8] C.A. Balanis, Advance Engineering Electromagnetics, John Wiley and Son, 1989.
- [9] S. Promwong, W. Hachitani, J. Takada, P. Supanakoon, and P. Tangtisanon "Experimental Study of Ultra-Wideband Transmission Based on Friis' Transmission Formula," The Third International Symposium on Communications and Information Technology (ISCIT) 2003, vol. 1. pp. 467470, Sept. 2003.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# ECTI-CON 2007

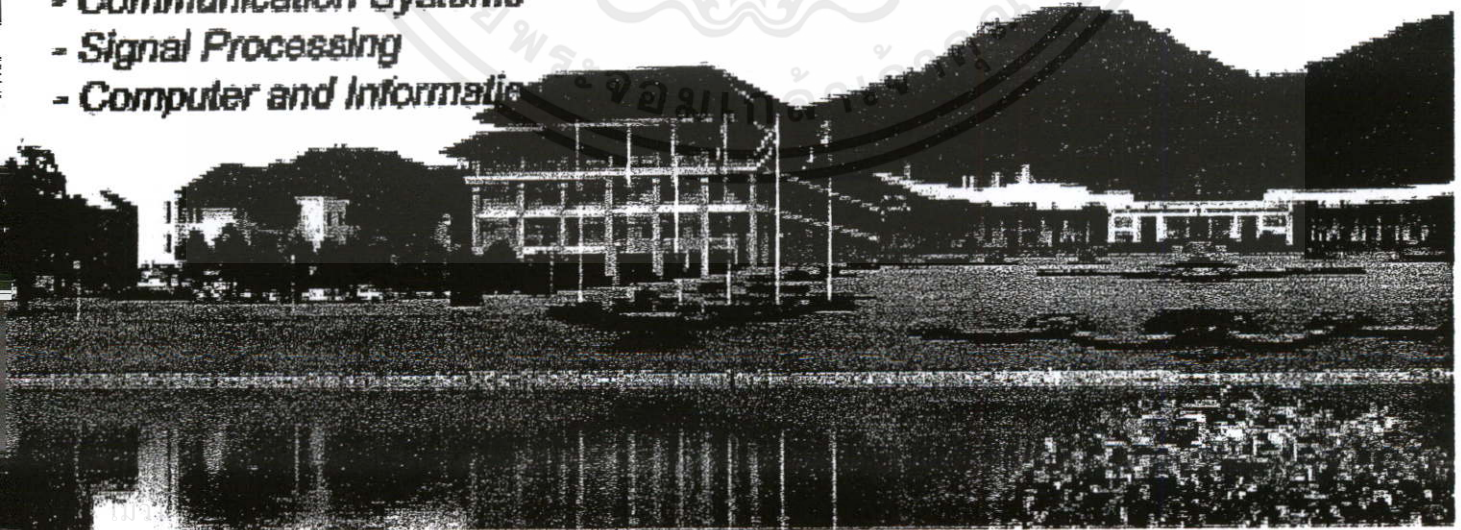
*Mae Fah Luang University, Chiang Rai, Thailand  
May 9-12, 2007*

## **VOLUME 1**

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

## **VOLUME 2**

- *Communication Systems*
- *Signal Processing*
- *Computer and Information*



# A Study of Interference Signal of Ultra Wideband to Wireless Local Area Network

Pathamavadee Kositsakul, Sathaporn Promwong  
 Department of Information Engineering, Faculty of engineering,  
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand  
 E-mail:oui\_iej@hotmail.com

**Abstract**—This paper studies about the presence of ultra wideband (UWB) system to performance of Wireless LAN (WLAN) in IEEE 802.11a standard. From our study, it indicates that UWB interference can cause a significant increase in the bit error rate (BER) of IEEE 802.11a. Then, we purpose a model to evaluate bit error rate when they work in the same time. In WLAN, we use Binary Phase Shift Keying modulation (BPSK) in transmitted signal and use Rectangular Pulse for UWB transmission. The model investigates that the bit error rate to explain the interference occurring from both of systems.

## I. INTRODUCTION

Recently, Ultra Wideband (UWB) [1] technology has attracted a lot of interest in the research community. The UWB system offers more potential performance than any other such as high data rates, low-power transmissions, low cost, robustness to multipath fading, and excellent geolocation capabilities. Given these superior capabilities, it is expected that UWB will quickly become a critical and integral part of the future home and office environments. As specified by the FCC [2], UWB can operate in the frequency range of 3.1 GHz ~10.6 GHz with an indoor emission limit of -41 dBm/MHz in order not to affect to other devices operating in the same or close frequency such as IEEE 802.11a standard [3] which wireless system operates in the 5 GHz. From this frequency, we can see that both of systems have overlapped as shown in Fig. 1. Therefore, when the UWB radio technology present with WLAN, it can induce interference and degrade the throughput of IEEE 802.11a system. This system studies the coexistence of UWB system and IEEE 802.11a in both Line of sight (LOS) propagation scenario. The results show that UWB interference can greatly impact the performance of the IEEE 802.11a receiver depicted in Fig. 2.

In this paper, we analyze about effect of UWB interference occurring while it works with IEEE 802.11a system [4]. We use a BPSK modulation in WLAN system and use the rectangular pulse for UWB system. For the result, we keep watching BER to SNR in every bit rates operating. In order to measure any impact or interference of UWB transmission to IEEE 802.11a system. In section II, the model of IEEE 802.11a transmission and UWB system are provided. The experimental setup and the result will be given in section III and IV respectively and a brief conclusion is given in section V.

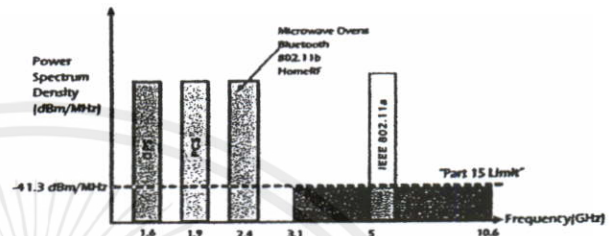


Fig. 1. Range of IEEE.802.11a frequency overlapping with UWB frequency.



Fig. 2. Interference between IEEE.802.11a and UWB transmission.

## II. THEORY

### A. The IEEE 802.11a Transmitter Model

The IEEE 802.11a signal used to transmit can be represented as [5]

$$s_{BPSK}(t) = m(t) \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_c t + \theta_c) \quad (1)$$

where  $m(t)$  is data signal,  $\cos(2\pi f_c t)$  is applied as the carrier, and averaged power is  $E_b$  where  $E_b = \frac{1}{2} A_c^2 T_b$  when  $A_c$  is amplitude of signal and  $T_b$  is duration of time.

### B. The transmitted signal waveform of UWB

In this paper, we use waveform shown in Eq. (2) as UWB signal. Eq. (3) is spectrum of the waveform in Eq. (2) by Fourier transform in frequency domain.

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

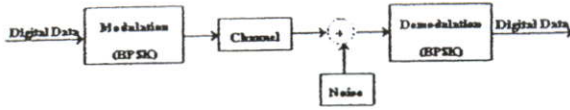


Fig. 3. Diagram of only IEEE 802.11a transmission.

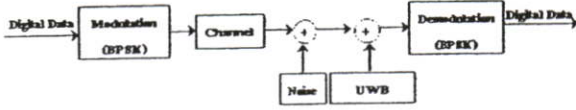


Fig. 4. Diagram of IEEE 802.11a transmission with presence of UWB transmission

$$V_t(f) = \begin{cases} \frac{1}{2f_b} & ||f| - f_c| \leq \frac{f_b}{2} \\ 0 & ||f| - f_c| \geq \frac{f_b}{2} \end{cases} \quad (3)$$

where  $t$  represents the time duration,  $f$  is a frequency,  $f_c$  is a center frequency,  $f_b$  is a bandwidth frequency,  $f_L = f_c - \frac{f_b}{2}$  is minimized frequency,  $f_H = f_c + \frac{f_b}{2}$  is maximum frequency, and  $\text{sinc}x = \frac{\sin(\pi x)}{\pi x}$  is waveform that has maximum magnitude equal to 1 at  $t = 0$ . Fig. 3 and 4 illustrate block diagram about IEEE 802.11a transmission and with a presence of UWB transmission respectively.

### C. The IEEE 802.11a Receiver Model

A transmitted signal passed through the wireless channel including the transmitter and receiver antennas. Therefore, the total received signal from BPSK transmitter can be expressed as

$$r_{BPSK}(t) = m(t) \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos^2(2\pi f_c t + \theta_c) + v_t(t) + n(t) \quad (4)$$

where  $v_t(t)$  represents UWB interference [6] and  $n(t)$  is Additive White Gaussian Noise.

### D. The UWB Receiver Model

A received waveform of UWB transmission while working with IEEE 802.11a is  $v_r(t)$  that can be presented as Eq. 5.

$$v_r(t) = \frac{h(t) * h(-t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} h^2(t) dt}} \quad (5)$$

For  $h(t)$  is structure of waveform from inverse Fourier transform. the spectrum of output from UWB transmission is  $V_r(f)$  present in Eq. 6.

$$V_r(f) = \frac{|H(f)|^2}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H(f)|^2 df}} \quad (6)$$

where  $H(f)$  is transfer function.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE I  
EXPERIMENTAL SETUP PARAMETERS

Parameter	Value
WLAN Frequency range	5.2 GHz
UWB Frequency range	3 GHz ~ 11 GHz
Number of frequency points	801
Tx antenna height	2.2 m
Rx antenna height	2.2 m
Distance between Tx and Rx	1.2 ~ 5.6 m
Antenna type	Biconical
Data rate	6, 9 Mbps
bandwidth for WLAN	0.1 GHz
Bandwidth for UWB	7.5 GHz

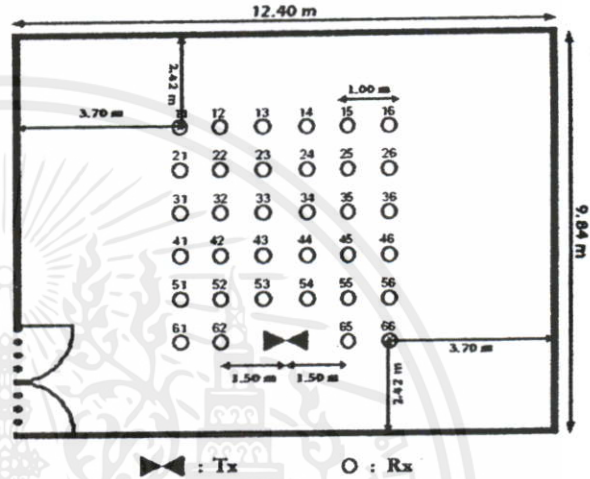


Fig. 5. Model 1 arranged antennas in horizontal view.

## III. EXPERIMENTAL SETUP

In our analysis about interference of UWB working together with IEEE 802.11a, we propose a model to notice the characteristics of UWB interference which affects to IEEE 802.11a system [7]. Simulating a transmitted signal, we use the Vector Network Analyzer (VNA) to generate the both signals. For UWB signal, it is specified the frequency range at 3 GHz ~ 11 GHz and WLAN signal, is specified at 5.2 GHz. About data rate, we choose two rates that is 6 and 9 Mbps. When creating signal has finished, VNA transmits signal via port 1 connected to transmitted antenna. After that signal will be transferred to received antenna and received signal will be collect to VNA via port 2. We use the biconical antenna to send and receive the signal and its high is 2.2 meter. About the arrangement of antennas, we will fix the position of transmitted antenna at one point. About received antenna, we keep changing their position from 1 to 34 points as shown in fig. 5. However, we pick 4 points of 34 points that is (11), (16), (51) and (66) to represent their error. For dimension of experimental room as depicted in fig. 5. For all of details about parameter in paper presented in table 1.

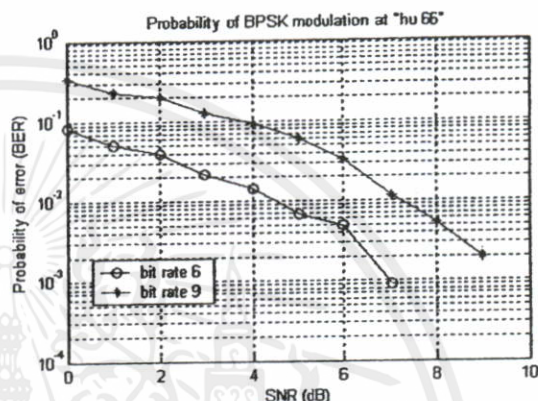
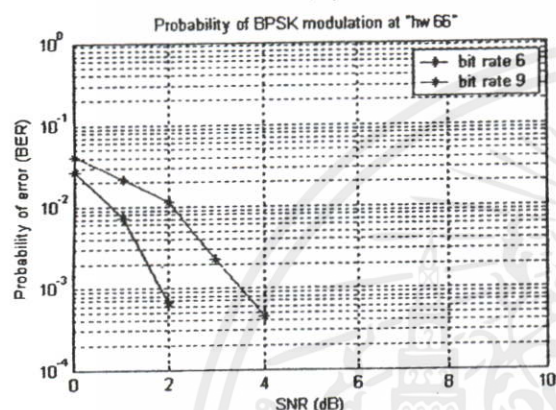
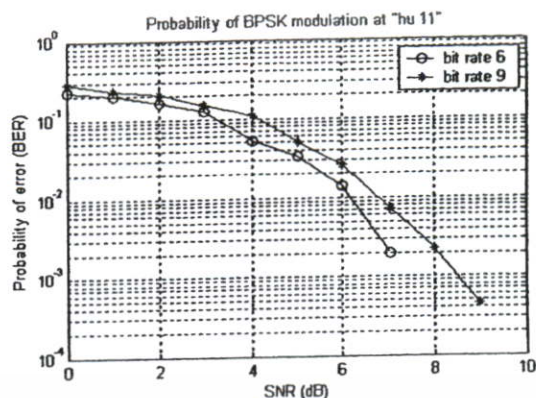
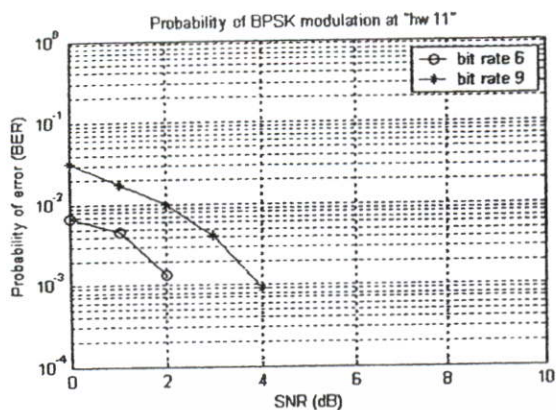


Fig. 6. BER to SNR in only IEEE 802.11a transmission.

Fig. 7. BER to SNR in only UWB transmission.

#### IV. RESULT AND DISCUSSION

From the result, when we transmit only the IEEE 802.11a signal or UWB signal in a time, the result shows that in a higher bit rate (9 Mbps) has more BER value than lower bit rate (6 Mbps). About the SNR value, when we send the high data rate, SNR will be increased also as shown in fig. 6 and 7. About relation of BER and SNR, when BER has increased, SNR will decreased. Moreover, when UWB and IEEE 802.11a signal perform in the same time, the results have in the same way as two scenarios above. However, the BER will be risen more than two cases as shown in fig. 8 and 9.

Then, from the result, we will notice that if we have to send both systems in the same time, we should send the signals in low bit rate to cause minimum BER.

#### V. CONCLUSIONS

In this paper, we explain effect of UWB signal to IEEE 802.11a performance. We create the model to investigate its effect. From IEEE 802.11a transmission, UWB transmission, and IEEE 802.11a transmission with the coexistence of UWB, the result arriving from the model shows that when we send in higher bit rates, they always result in increasing BER. Especially, IEEE 802.11a transmission with the coexistence of UWB has higher BER more than IEEE 802.11a or UWB transmission themselves. Then we can conclude that UWB

transmission makes interference to IEEE 802.11a transmission in every single bit rates and especially, in higher bit rate, it can notice obviously.

#### REFERENCES

- [1] M.Z. Win and R.Scholtz, "Impulse radio: How it works", IEEE Communication Letters, vol2, no.1, Jan. 1998.
- [2] Federal Communications Commission, "Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding UWB Transmission Systems," First Report, FCC 02-48, Apr. 2002.
- [3] Institute of Electrical and Electronics Engineers, High-speed Physical Layer in the 5 GHz Band, IEEE Std 802.11a-1999, Sept 1999.
- [4] B. Firoozbakhsh and T. Pratt, "Ultra Wideband Communications; Coexistence with IEEE 802.11a," Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, GTBI Advisory Board Report, Jun. 2003.
- [5] W.C. Chung and D.S.Ha, "On the performance of bi-phase modulated UWB signals in a multipath channel," Proc. IEEE Vehicular Technology Conference, vol. 3, pp. 1654-1658, 2003.
- [6] 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.
- [7] B. Firoozbakhsh, T. Pratt and N. Jayant, "Analysis of IEEE 802.11a Interference on UWB Systems," in Proc. IEEE Conf. on Ultra Wideband Systems and Technology (UWBST2003), Nov. 2003.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

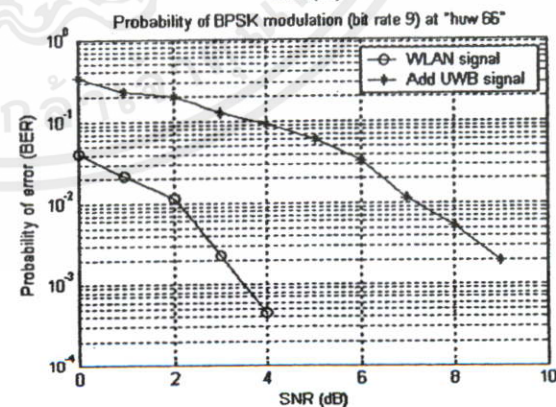
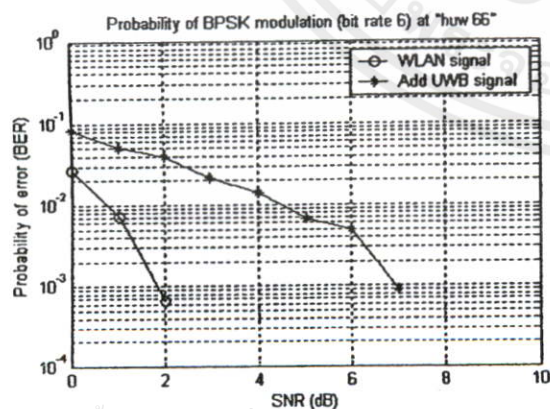
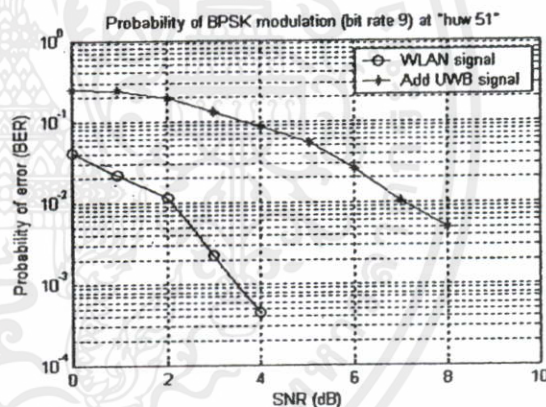
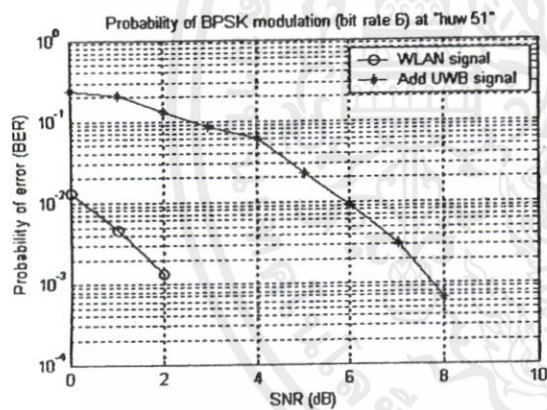
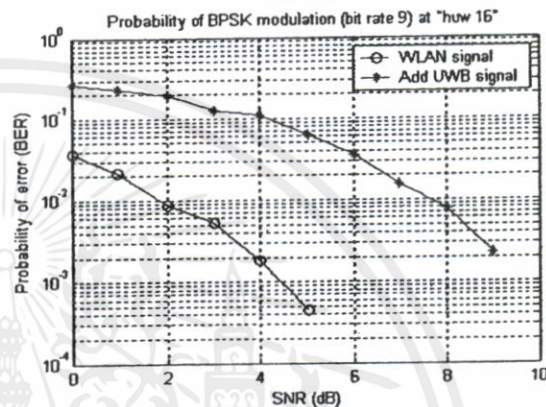
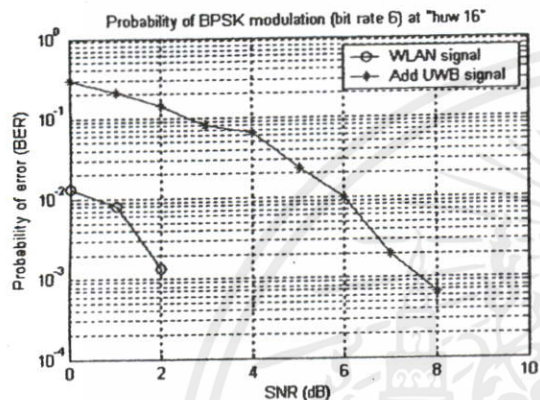
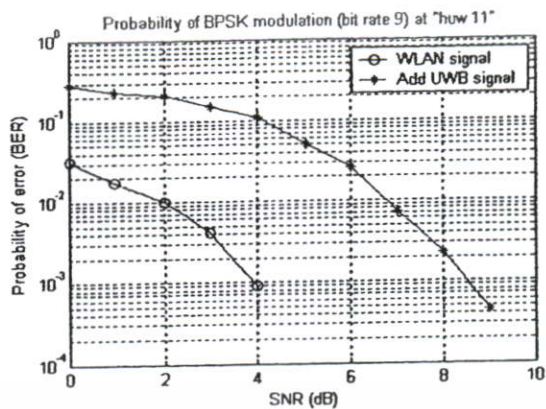
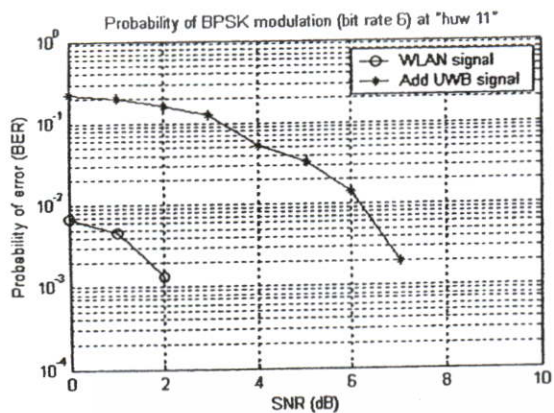


Fig. 8. BER to SNR in IEEE 802.11a in presence of UWB transmission at 6 Mbps.

Fig. 9. BER to SNR in IEEE 802.11a in presence of UWB transmission at 9 Mbps.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

นี่คือการพิมพ์ที่ชัดเจนที่สุดเท่าที่จะทำได้ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวปฐมาวดี โขมิตสกุล
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 14 พฤษภาคม พ.ศ. 2524
ที่อยู่	62/138 หมู่บ้านนันทนาการเดิน ซอย แจ่งวัฒนะ-ปากเกร็ด 17 ปากเกร็ด จังหวัด นนทบุรี 11120
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ จากภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2547 สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีบริหารธุรกิจบัณฑิต สาขาการตลาด จากคณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยรามคำแหง ในปีการศึกษา 2548
ผลงานวิจัย	<b>Interference on Ultra Wideband Radio Propagation Channel with Two-path Model.</b> The 1st Joint International Conference on Information Communication Technology (JICT) 2007. <b>A Study of Interference Signal of Ultra Wideband to Wireless Local Area Network.</b> Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI) International Conference 2007.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้