

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้า ลาดกระบัง

การศึกษาการวัดของแบบจำลองการสะท้อนพื้นผิวราบและขรุขระ
สำหรับการสื่อสารวิทยุแบบแถบกว้างยิ่ง

EXPERIMENTAL STUDY OF GROUND REFLECTION MODEL IN SMOOTH /
ROUGH SURFACE FOR UWB RADIO COMMUNICATIONS



นายอริคม ทรัพย์สาร
นายอานนท์ ภูพาทิ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 62880
วัน,เดือน,ปี..... 23 ส.ค. 2549

b. 11623189
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**EXPERIMENTAL STUDY OF GROUND REFLECTION MODEL IN SMOOTH /
ROUGH SURFACE FOR UWB RADIO COMMUNICATIONS**



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2005

หัวข้อปริญญานิพนธ์

การศึกษาการวัดของแบบจำลองการสะท้อนพื้นผิวราบและ
ขรุขระสำหรับการสื่อสารวิทยุแบบแถบกว้างยิ่ง

ชื่อนักศึกษา

นายอริคม ทรัพย์सार รหัสนักศึกษา 46015692
นายอานนท์ ภูพาทิ รหัสนักศึกษา 46015695

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์
อาจารย์สรพงษ์ วิชิรัตน์พรกุล

ระดับการศึกษา

ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ

ภาควิชา

วิศวกรรมสารสนเทศ

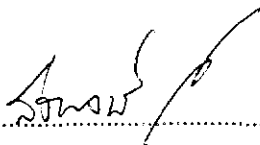
ปีการศึกษา

2548

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
นับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต



.....อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์
(อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์)



.....อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์
(อาจารย์สรพงษ์ วิชิรัตน์พรกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาการวัดของแบบจำลองการสะท้อนพื้นผิวราบและ ขรุขระสำหรับการสื่อสารวิทยุแบบแถบกว้างยิ่ง
นักศึกษา	นายอริคม ทรัพย์สาร รหัสนักศึกษา 46015692 นายอานนท์ ภูพาที รหัสนักศึกษา 46015695
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
พ.ศ.	2548
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์ร่วม	อาจารย์สรพงษ์ วชิรรัตนพรกุล

บทคัดย่อ

ปัจจุบันเทคโนโลยี Ultra-Wideband (UWB) ได้เข้ามามีบทบาทต่อเทคโนโลยีทางการสื่อสารแบบไร้สายระยะสั้นเป็นอย่างมาก ดังนั้น เพื่อการสื่อสารไร้สายมีประสิทธิภาพสูงสุด จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาถึงผลกระทบต่างๆ โครงการนี้ได้ศึกษาและ วิเคราะห์ผลการสะท้อนของคลื่นของช่องสัญญาณ ในการสื่อสารแบบ Ultra-Wideband (UWB) ที่มีผลต่อสภาพพื้นผิวในลักษณะต่างๆ โดยได้ทำการจำลองสภาพแวดล้อมภายในห้องประชุมชั้น 12 ของอาคารวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และได้ใช้อุปกรณ์ในการวัดครั้งนี้คือ Vector Network Analyzer (VNA) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดในย่านความถี่ตั้งแต่ 3 GHz ถึง 11 GHz และได้ใช้เสาอากาศแบบ Biconical โดยการวัดนี้จะได้ทำการวิเคราะห์ผลการสะท้อนจากพื้นที่ในลักษณะแบบเรียบและแบบไม่เรียบ และนอกจากนี้จะได้เอา Matched Filter มาใช้กับเสาอากาศทางด้านรับ เพื่อให้ได้ค่า SNR สูงที่สุด และนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับมีลักษณะแตกต่างกันอย่างไรและจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างไรบ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Experimental Study of Ground Reflection Model in Smooth / Rough Surface for UWB Radio Communications
Student	Mr. Atikom Suppayasan ID. 46015692 Mr. Anon Pupatee ID. 46015695
Graduate Level	Bachelor Degree of Information Engineering
Department	Information Engineering
Academic Year	2004
Thesis Advisor	Mr. Sathaporn Promwong
Thesis Co-Advisor	Mr. Sorapong Wachirarattanapornkul

ABSTRACT

UWB is limited in short range communication because it is necessary to have a limitation on UWB transmitting power density as a rule to avoid the interference with existing narrow-band communication systems. The reflection channel is analyzed in this project. The channels with the materials are measured in conference room at 12 floor by using the vector network analyzer (VNA). The measurement frequency range is set to be 3 GHz to 11 GHz. The biconical antennas are used for both transmitter and receiver antennas. The rough and smooth materials are used for measurement. The matched filter is used at the receiver for obtaining the maximum SNR. The result are compared and discussed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ผลสำเร็จที่เกิดขึ้นได้นั้นคงไม่อาจเป็นไปได้ ถ้าไม่ได้รับความกรุณาจาก อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์ และ อาจารย์สรพงษ์ วชิรรัตนพรกุล ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์ ที่ได้ช่วยกรุณาให้คำแนะนำ ซึ่งแนะแนวทางในการแก้ปัญหา ฝึกฝนให้คณะผู้จัดทำมีความสามารถในการทำโครงการได้ สำเร็จด้วยความสมบูรณ์ ตลอดจนทำการตรวจทานต้นฉบับของปริญญานิพนธ์นี้ คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในการอนุเคราะห์ของท่าน และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณท่านที่ได้มีส่วนช่วยในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ดังนี้

อาจารย์พิชญ์ สุพรรณกุล ที่กรุณาให้คำแนะนำเกี่ยวกับระบบการสื่อสาร การทำงานของระบบการสื่อสารแบบ Ultra-Wideband และช่วยชี้แนะแนวทางการแก้ปัญหาทางด้านโปรแกรม

ขอกราบขอบพระคุณ บิศา มารดา ที่คอยให้กำลังใจ และการสนับสนุน ช่วยเหลือ ในการทำงานทุกๆ ด้าน กับคณะผู้จัดทำ

ขอกราบขอบพระคุณ เพื่อนๆ ทุกคนที่ได้ช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และให้กำลังใจตลอดมา โดยเฉพาะอย่างยิ่ง พี่ๆ ปริญญาโททุกท่าน

คุณค่า และประโยชน์อันพึงมีจากงานปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ทางคณะผู้จัดทำขอขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ช
สารบัญตาราง	ด
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 กล่าวนำ	1
1.2 แนวคิดและที่มาของโครงการ	1
1.3 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์	2
1.4 ขอบเขตของโครงการ	3
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
1.6 โครงประกอบของปริญญานิพนธ์	4
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 กล่าวนำ	5
2.2 เทคโนโลยี Ultra-Wideband (UWB)	6
2.3 คุณลักษณะของเทคโนโลยี UWB	7
2.3.1 จุดเด่นของระบบแบบ Ultra-Wideband	8
2.4 กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารแบบ Ultra-Wideband	10
2.4.1 กฎข้อบังคับของระบบ Ultra-Wideband ในสหรัฐอเมริกา	10
2.4.2 กฎข้อบังคับของระบบ Ultra-Wideband ในยุโรป	12
2.5 รูปแบบของสัญญาณในระบบการสื่อสารแบบ Ultra-Wideband	13
2.5.1 คำจำกัดความของสัญญาณ Ultra-Wideband	13
2.5.2 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียน (Gaussian pulse)	14
2.5.3 สัญญาณพัลส์แบบ โม โน ไซเคิล (Monocycle pulse signal)	14

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 2.5.4 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนดับเบิล (Gaussian doublet) นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 เทคนิคการมอดูเลตในระบบการสื่อสารแบบ Ultra-Wideband	16
2.6.1 การมอดูเลตทางขนาดของพัลส์	16
2.6.2 การมอดูเลตทางตำแหน่งของพัลส์	16
2.6.3 การมอดูเลตแบบสองเฟส	17
2.7 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex)	17
2.8 แพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่น	18
2.8.1 แพทเทิร์นแบบไอโซโทรอปิก, ไครเรชันเนล และออมนิไดเรชันเนล	18
2.8.2 แพทเทิร์นหลัก	19
2.8.3 โลกของแพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่น	19
2.8.4 บริเวณต่างๆ ของสนามจากสายอากาศ	20
2.9 ระบบสื่อสารโดยพื้นฐาน	21
2.9.1 อุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุต	21
2.9.2 เครื่องส่ง	22
2.9.3 ช่องทางสื่อสาร	22
2.9.4 ความถี่และความยาวคลื่น	22
2.9.5 สัญญาณรบกวน (Noise)	23
2.9.6 เครื่องรับ	24
2.10 ลักษณะการเกิดคลื่น	24
2.11 คุณสมบัติของคลื่น	26
2.11.1 การสะท้อนของคลื่น	27
2.11.2 การหักเหของคลื่น	28
2.11.3 การแพร่กระจายคลื่น	29
2.11.4 การแทรกสอดของคลื่น	29
2.12 คุณสมบัติอื่นๆ ที่เกิดขึ้นกับคลื่น	31

บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ของ Two Path Model 33

3.1 การวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณ UWB ใน Free Space 33

แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.1 พารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับช่องสัญญาณแบบ Ultra-Wideband	33
3.1.2 การแพร่การประวิงเวลา (Delay spread)	37
3.2 ทฤษฎีของ Matched filter	37
3.3 Path Gain	39
3.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับการสะท้อนของคลื่น	40
3.5 องค์ประกอบของการสูญเสียเนื่องจากการกระจัดกระจาย	42
บทที่ 4 การทดลอง	44
4.1 แบบแผนการทดลอง	44
4.1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	44
4.2 แนวคิดเกี่ยวกับปัญหา	47
4.3 รูปแบบโมเดลที่ใช้ในการทดลอง	47
4.4 สายอากาศที่ใช้ในการทดลอง	53
4.5 พารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการทดลอง	55
บทที่ 5 ผลการทดลองและการวิเคราะห์	56
5.1 บทนำ	56
5.2 วิเคราะห์และแสดงค่าของ Path loss ที่ได้จากการทดลอง	57
5.3 วิเคราะห์และแสดงค่าของ Mean Excess Delay ที่ได้จากการทดลอง	67
5.4 วิเคราะห์และแสดงค่าของ R.M.S Delay Spread ที่ได้จากการทดลอง	75
5.5 วิเคราะห์และแสดงค่าของ Correlation Coefficient ที่ได้จากการทดลอง	84
5.6 แสดงค่าของสัญญาณที่ผ่าน Matched Filter ที่ได้จากการทดลอง	93
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและแนวทางในการพัฒนา	100
6.1 สรุปผลที่ได้จากการทดลอง	101
6.2 ข้อเสนอแนะและปัญหาที่เกิดขึ้น	102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	103
ภาคผนวก	104
ภาคผนวก ก. ขั้นตอนการ CAL ก่อนทำการวัดโดยใช้เครื่อง Vector Network Analyzer	105
ภาคผนวก ข. โครงสร้างของสายอากาศแบบ 2 ทรงกรวย	109



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	รูปลักษณะพื้นที่ผิวแบบเรียบ	2
1.2	รูปลักษณะพื้นที่ผิวแบบไม่เรียบหรือขรุขระ	2
2.1	มาตรฐาน Wireless Area Network	6
2.2	กำลังงานและความถี่ของระบบการสื่อสารแบบ Ultra-Wideband เมื่อเทียบกับระบบการสื่อสารในปัจจุบัน	7
2.3	ลักษณะของสัญญาณพัลส์ในโดเมนเวลา และแถบกำลังงานของสัญญาณในโดเมนความถี่	8
2.4	ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย FCC และ ETSI ของระบบ Ultra-Wideband ภายในอาคาร	12
2.5	ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย FCC และ ETSI ของระบบ Ultra-Wideband ภายนอกอาคาร	13
2.6	รูปสัญญาณพัลส์แบบเกาส์ทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่	14
2.7	รูปสัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนโมโนไซเคิลทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่	15
2.8	รูปสัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนดับเบิลทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่	15
2.9	สัญญาณที่ทำการมอดูเลตแบบพัลส์ตามขนาด 4 ระดับ	16
2.10	สัญญาณที่ทำการมอดูเลตทางตามตำแหน่งของพัลส์	16
2.11	สัญญาณที่ผ่านการมอดูเลตแบบสองเฟส	17
2.12	แพทเทิร์นของสายอากาศชี้ทิศทาง (ออมนิไดเรกชันแนล)	19
2.13	การแบ่งบริเวณของสนามจากสายอากาศ	20
2.14	ระบบสื่อสารพื้นฐาน	21
2.15	ภาคตัดขวางของลูกคลื่น	25
2.16	คลื่นวิทยุกระจายออกจากสายอากาศ	26
2.17	คุณสมบัติพื้นฐานของคลื่น (4 ลักษณะ)	27
2.18	การสะท้อนของคลื่นวิทยุ	27
2.19	การหักเหของคลื่นวิทยุ	28
2.20	การเบี่ยงเบนของคลื่นวิทยุ	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.21	การ Interference ของ Direct Rays และ Ground - Reflected Rays	30
2.22	Radiation Pattern with Interference	30
2.23	การกระจัดกระจายของคลื่น	32
3.1	ลักษณะการสื่อสารผ่านช่องสัญญาณ	33
3.2	บล็อกไดอะแกรมของระบบการส่งสัญญาณที่ได้มีการเพิ่มเติมจากสูตรของฟรีด (Friis's transmission) เพื่อนำมาใช้กับระบบ Ultra-Wideband	35
3.3	บล็อกไดอะแกรมของระบบการส่งสัญญาณ	38
3.4	แบบจำลองการสะท้อนจากพื้นผิว	40
3.5	การสะท้อนในลักษณะที่เป็นพื้นขรุขระ	42
4.1	ภาพของเครื่องวิเคราะห์เครือข่ายแบบเวกเตอร์ (Vector Network Analyzer)	44
4.2	ภาพของสายอากาศแบบกรวยคู่ (Biconical Antenna)	44
4.3	ภาพของสาย Coaxial Cable แบบ Semirigid	45
4.4	ภาพของชุด Connector	45
4.5	ภาพพื้นผิวเรียบ	46
4.6	ภาพพื้นผิวขรุขระ	46
4.7	ภาพพื้นผิวขรุขระมาก	46
4.8	แบบจำลองการสะท้อนจากพื้นผิว	47
4.9	โมเดลการทดลองที่ระยะทางระหว่างสายอากาศด้านส่งและด้านรับเท่ากับ 1 เมตร	48
4.10	โมเดลการทดลองที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและ ความสูงของสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.9 เมตร ระยะทางระหว่างสายอากาศด้านส่งและด้านรับเท่ากับ 1 เมตร	48
4.11	โมเดลการทดลองที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและ ความสูงของสายอากาศด้านรับเท่ากับ 2.2 เมตร ระยะทางระหว่างสายอากาศด้านส่งและด้านรับเท่ากับ 1 เมตร	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.12 โมเดลการทดลองที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.9 เมตรและ ความสูงของสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร ระยะทางระหว่างสายอากาศ ด้านส่งและด้านรับเท่ากับ 1 เมตร	49
4.13 โมเดลการทดลองที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.9 เมตรและ ความสูงของสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.9 เมตร ระยะทางระหว่างสายอากาศ ด้านส่งและด้านรับเท่ากับ 1 เมตร	50
4.14 โมเดลการทดลองที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและ ความสูงของสายอากาศด้านรับเท่ากับ 2.2 เมตร ระยะทางระหว่างสายอากาศ ด้านส่งและด้านรับเท่ากับ 1 เมตร	50
4.15 โมเดลการทดลองที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 2.2 เมตรและ ความสูงของสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร ระยะทางระหว่างสายอากาศ ด้านส่งและด้านรับเท่ากับ 1 เมตร	51
4.16 โมเดลการทดลองที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 2.2 เมตรและ ความสูงของสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.9 เมตร ระยะทางระหว่างสายอากาศ ด้านส่งและด้านรับเท่ากับ 1 เมตร	51
4.17 โมเดลการทดลองที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 2.2 เมตรและ ความสูงของสายอากาศด้านรับเท่ากับ 2.2 เมตร ระยะทางระหว่างสายอากาศ ด้านส่งและด้านรับเท่ากับ 1 เมตร	52
4.18 โมเดลการเปลี่ยนระยะทางระหว่างสายอากาศด้านส่งและด้านรับเพิ่มขึ้น ทีละ 1 เมตรของพื้นผิวเรียบ	52
4.19 โมเดลการเปลี่ยนระยะทางระหว่างสายอากาศด้านส่งและด้านรับเพิ่มขึ้น ทีละ 1 เมตรของพื้นผิวขรุขระ	53
4.20 ลักษณะและขนาดของสายอากาศไบโคเนคคอน	53
4.21 คุณลักษณะของสายอากาศไบโคเนคคอน	54
4.22 ขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่าน (Antenna gain) และเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่าน	

เอกสารนี้เป็นของสายอากาศไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.1	ค่า Path loss ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง	58
5.2	ค่า Path loss ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 2.2 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 2.2 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง	59
5.3	ค่า Path loss ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน	59
5.4	ค่า Path loss ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 2.2 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 2.2 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน	60
5.5	ค่า Path loss ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.9 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง	60
5.6	ค่า Path loss ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 2.2 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง	61
5.7	ค่า Path loss ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.9 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน	61
5.8	ค่า Path loss ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 2.2 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน	62
5.9	ค่า Path loss ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.9 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง	62
5.10	ค่า Path loss ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 2.2 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง	63
5.11	ค่า Path loss ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.9 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน	63
5.12	ค่า Path loss ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 2.2 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน	64
5.13	ค่า Mean Excess Delay ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยและต้องอภัยถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.14	ค่า Mean Excess Delay ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 2.2 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 2.2 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง	68
5.15	ค่า Mean Excess Delay ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน	69
5.16	ค่า Mean Excess Delay ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 2.2 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 2.2 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน	69
5.17	ค่า Mean Excess Delay ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.9 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง	70
5.18	ค่า Mean Excess Delay ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 2.2 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง	70
5.19	ค่า Mean Excess Delay ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.9 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน	71
5.20	ค่า Mean Excess Delay ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 2.2 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน	71
5.21	ค่า Mean Excess Delay ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.9 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง	72
5.22	ค่า Mean Excess Delay ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 2.2 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง	72
5.23	ค่า Mean Excess Delay ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.9 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน	73
5.24	ค่า Mean Excess Delay ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 2.2 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน	73
5.25	ค่า R.M.S Delay Spread ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง	76
5.26	ค่า R.M.S Delay Spread ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 2.2 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 2.2 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง	77

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับความเห็นชอบจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ถือว่าละเมิดลิขสิทธิ์และต้องรับผิดชอบต่อเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.27	ค่า R.M.S Delay Spread ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน	77
5.28	ค่า R.M.S Delay Spread ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 2.2 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 2.2 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน	78
5.29	ค่า R.M.S Delay Spread ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.9 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง	78
5.30	ค่า R.M.S Delay Spread ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 2.2 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง	79
5.31	ค่า R.M.S Delay Spread ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.9 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน	79
5.32	ค่า R.M.S Delay Spread ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 2.2 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน	80
5.33	ค่า R.M.S Delay Spread ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.9 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง	80
5.34	ค่า R.M.S Delay Spread ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 2.2 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง	81
5.35	ค่า R.M.S Delay Spread ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.9 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน	81
5.36	ค่า R.M.S Delay Spread ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 2.2 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน	82
5.37	ค่า Correlation Coefficient ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง	85
5.38	ค่า Correlation Coefficient ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 2.2 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 2.2 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง	85
5.39	ค่า Correlation Coefficient ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน	86

เอกสารนี้เผยแพร่และสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน ซึ่งประโยชน์ 86 ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.40	ค่า Correlation Coefficient ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 2.2 เมตร และสายอากาศด้านรับเท่ากับ 2.2 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน	86
5.41	ค่า Correlation Coefficient ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.9 เมตร และสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง	87
5.42	ค่า Correlation Coefficient ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 2.2 เมตร และสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง	87
5.43	ค่า Correlation Coefficient ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.9 เมตร และสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน	88
5.44	ค่า Correlation Coefficient ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 2.2 เมตร และสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน	88
5.45	ค่า Correlation Coefficient ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตร และสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.9 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง	89
5.46	ค่า Correlation Coefficient ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตร และสายอากาศด้านรับเท่ากับ 2.2 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง	89
5.47	ค่า Correlation Coefficient ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตร และสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.9 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน	90
5.48	ค่า Correlation Coefficient ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตร และสายอากาศด้านรับเท่ากับ 2.2 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน	90
5.49	ค่า Path loss ของสัญญาณที่ Optimum ที่ผ่านเข้าไปใน Matched filter ที่ความสูงสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง	93
5.50	ค่า Path loss ของสัญญาณที่ Optimum ที่ผ่านเข้าไปใน Matched filter ที่ความสูงสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 2.2 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 2.2 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง	94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.51	ค่า Path loss ของสัญญาณที่ Optimum ที่ผ่านเข้าไปใน Matched filter ที่ความสูงสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน	94
5.52	ค่า Path loss ของสัญญาณที่ Optimum ที่ผ่านเข้าไปใน Matched filter ที่ความสูงสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 2.2 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 2.2 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน	95
5.53	ค่า Path loss ของสัญญาณที่ Optimum ที่ผ่านเข้าไปใน Matched filter ที่ความสูงสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.9 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง	95
5.54	ค่า Path loss ของสัญญาณที่ Optimum ที่ผ่านเข้าไปใน Matched filter ที่ความสูงสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 2.2 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง	96
5.55	ค่า Path loss ของสัญญาณที่ Optimum ที่ผ่านเข้าไปใน Matched filter ที่ความสูงสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.9 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน	96
5.56	ค่า Path loss ของสัญญาณที่ Optimum ที่ผ่านเข้าไปใน Matched filter ที่ความสูงสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 2.2 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน	97
5.57	ค่า Path loss ของสัญญาณที่ Optimum ที่ผ่านเข้าไปใน Matched filter ที่ความสูงสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.9 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง	97
5.58	ค่า Path loss ของสัญญาณที่ Optimum ที่ผ่านเข้าไปใน Matched filter ที่ความสูงสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 2.2 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง	98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.59	ค่า Path loss ของสัญญาณที่ Optimum ที่ผ่านเข้าไปใน Matched filter ที่ความสูงสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.9 เมตร และมุมของสายอากาศเบนแนวนอน	98
5.60	ค่า Path loss ของสัญญาณที่ Optimum ที่ผ่านเข้าไปใน Matched filter ที่ความสูงสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 2.2 เมตร และมุมของสายอากาศเบนแนวนอน	99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร	11
2.2	ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร	12
2.3	ย่านความถี่และความยาวคลื่น	23
4.1	พารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการทดลอง	54
5.1	ค่า Path Loss (dB) เทียบกับ โมเดลและระยะทางต่างๆ	65
5.2	ค่า Mean Excess Delay (ns) เทียบกับ โมเดลและระยะทางต่างๆ	74
5.3	ค่า R.M.S Delay Spread (ns) เทียบกับ โมเดลและระยะทางต่างๆ	83
5.4	ค่า Correlation Coefficient เทียบกับ โมเดลและระยะทางต่างๆ	91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

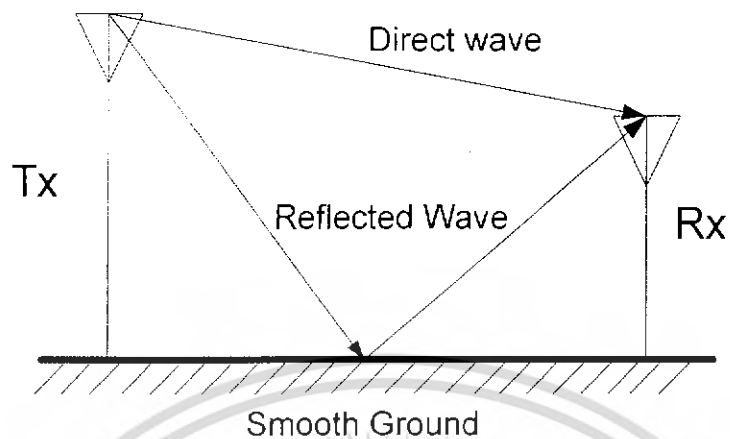
บทนำ

1.1 กล่าวนำ

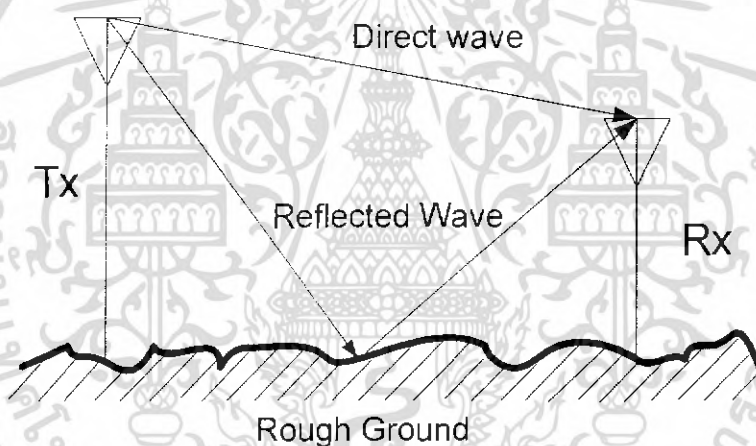
ปัจจุบันเทคโนโลยี Ultra-Wideband : UWB ได้เข้ามามีบทบาทต่อเทคโนโลยีทางการสื่อสารแบบไร้สายระยะสั้นเป็นอย่างมาก ดังนั้น เพื่อการสื่อสารไร้สายมีประสิทธิภาพสูงสุด จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ที่จะต้องศึกษาถึงผลกระทบต่างๆ โครงการนี้ได้ศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบของคลื่นของช่องสัญญาณ ในการสื่อสารแบบ Ultra-Wideband ที่มีผลต่อสภาพพื้นผิวในลักษณะแตกต่างกัน โดยได้ทำการจำลองสภาพแวดล้อมภายในอาคาร ณ อาคารวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดครั้งนี้คือเครื่อง Vector Network Analyzer (VNA) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดในย่านความถี่ตั้งแต่ 3 GHz ถึง 11 GHz โดยในโครงการนี้ได้ใช้สายอากาศแบบ Biconical Antenna และจากการวัดนี้จะได้ทำการวิเคราะห์ผลกระทบสะท้อนจากพื้นที่มีลักษณะเป็นแบบเรียบและแบบไม่เรียบ แล้วนอกจากนี้ได้นำเอา Matched Filter มาใช้กับเสาอากาศทางด้านรับ เพื่อให้ได้ค่า Signal-to-Noise Ratio : SNR สูงที่สุด จากนั้นนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับมีลักษณะแตกต่างกันอย่างไร และจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างไรบ้าง

1.2 แนวคิดและที่มาของโครงการ

ในโครงการนี้ได้ทำการศึกษาและทดสอบสัญญาณการส่งผ่านย่านความถี่ Ultra-Wideband (UWB) ในกรณีที่ส่งผ่านจากพื้นในลักษณะต่างๆ ที่มีทั้งแบบเรียบ และไม่เรียบ แล้วยังทำการปรับระดับความสูงของสายอากาศทางด้านรับ และทางด้านส่ง อีกทั้งต้องทำการเปลี่ยนค่าระยะทางสายอากาศระหว่างทางด้านรับ และด้านส่ง เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงและผลกระทบต่างๆ ที่มีต่อรูปสัญญาณ



รูป 1.1 รูปลักษณะพื้นที่ผิวแบบเรียบ



รูป 1.2 รูปลักษณะพื้นที่ผิวแบบไม่เรียบหรือขรุขระ

1.3 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาและทดสอบสัญญาณการส่งผ่านในย่านความถี่ Ultra-Wideband (UWB) เนื่องในการสะท้อนของพื้นที่ผิวเรียบและผิวไม่เรียบ
2. เพื่อศึกษาผลที่ได้จากการวัด และนำมาวิเคราะห์โดยใช้ MATLAB Program
3. เพื่อศึกษาถึงระบบ และแนวทางในการพัฒนาตลอดจนถึงผลกระทบในการนำระบบการสื่อสารไร้สาย Ultra-Wideband มาใช้และสังเกตผลกระทบของพื้นในระยะเวลาที่ต่างกัน อีกทั้งในกรณีความสูงของตัวส่งที่ต่างกันว่ามีผลกระทบกับสัญญาณในย่านความถี่ UWB ว่ามีลักษณะอย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขอบเขตของโครงการ

1. เมื่อทำการออกแบบสายอากาศเป็นที่เรียบร้อยแล้วจึงได้ทำการวัดสัญญาณ โดยใช้เครื่อง Vector Network Analyzer (VNA) ในการวัดสัญญาณซึ่งจะทำการวัดรูปแบบต่างๆ คือ

1. ทำการวัดโดยปรับระดับความสูงของสายอากาศทั้งทางด้านรับ และทางด้านส่ง โดยเริ่มความสูงตั้งแต่ 1.6 เมตร จนถึง 2.2 เมตร โดยปรับเพิ่มทีละ 0.3 เมตร
2. ปรับเปลี่ยนค่าระยะทางของสายอากาศทั้งทางด้านรับ และทางด้านส่ง โดยเริ่มที่ 1 เมตร จนถึง 10 เมตร โดยเพิ่มความยาวครั้งละ 1 เมตร
3. เปลี่ยนมุมของสายอากาศโดยลองใช้ทั้งแบบแนวตั้ง (Vertical) และในแบบแนวนอน (Horizontal) เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่าง
4. ทำการปรับเปลี่ยนพื้นเป็นทั้งแบบชนิดเรียบ และแบบไม่เรียบจากนั้นให้ทำดังทุกกรณี ที่กล่าวมาแล้ว

2. เมื่อได้ทำการวัดโดยใช้เครื่อง Vector Network Analyzer ตามที่ได้ทำการออกแบบไว้แล้ว ข้อมูลที่ได้นั้นจะใช้ MATLAB Program ในการวิเคราะห์

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ID	Task Name	2005						2006			
		ม.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1	Problem Definition & Get Requirement	■									
2	Model Design A			■							
3	Measurement					■					
4	Analysis							■			
5	Documentation				■						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 โครงประกอบของปฏิญญานิพนธ์

ปฏิญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บท โดยที่

บทที่ 1 กล่าวถึงบทนำ, วัตถุประสงค์, แนวคิดที่มาของโครงการ, ขอบเขตงานและขั้นตอนการดำเนินงาน

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีโดยรวมที่นำมาใช้ในโครงการนี้จะประกอบด้วยพื้นฐานทั่วไปของคลื่น, พื้นฐานโดยทั่วไปของระบบสื่อสารแบบ Ultra-Wideband

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีของการเกิดการสะท้อนอันมาจากคลื่นในระบบการสื่อสารแบบ Ultra-Wideband และสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์

บทที่ 4 กล่าวถึงโมเดลที่ใช้ในการทดลอง, อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้สำหรับทดลอง, คุณสมบัติของสายอากาศที่ใช้ในการทดลอง และพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง

บทที่ 5 เป็นการนำเสนอผลที่ได้จากการวัด และการทดลอง จากการทำงานของระบบการสื่อสารแบบ Ultra-Wideband เมื่อเกิดสาเหตุในการสะท้อนของพื้นในรูปแบบต่างๆ

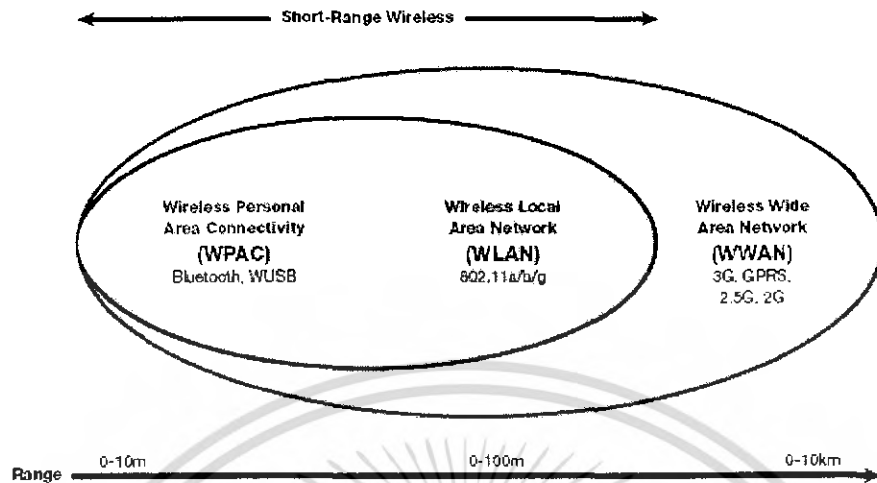
บทที่ 6 เป็นการกล่าวถึงบทสรุปของการวิจัย ในการทำปฏิญญานิพนธ์ฉบับนี้ทั้งหมด พร้อมทั้งปัญหาที่เกิดขึ้นในการทดลอง และข้อเสนอแนะแนวทางในการแก้ปัญหา

บทที่ 2

ระบบการสื่อสารแบบ Ultra-Wideband

2.1 คำนำ

Ultra-Wideband (UWB) Technology เทคโนโลยี Ultra-Wideband ได้ถูกนำมาใช้ในโครงการที่เป็นความลับของกองทัพสหรัฐฯ ในช่วงระหว่างปี 1960-1990 ซึ่งพบว่าเทคโนโลยีแบบ Ultra-Wideband เหมาะที่จะมาใช้กับการสื่อสารของเรดาร์ และการติดต่อสื่อสาร ที่ต้องการความปลอดภัยสูง ปัจจุบันความต้องการในการเชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ เข้าด้วยกันเพื่อเพิ่มความสะดวกในการใช้งานเริ่มมีมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการเชื่อมต่อเครือข่ายภายในอาคารสำนักงาน หรือการเชื่อมต่อเครือข่ายเพื่อความบันเทิงภายในแหล่งที่พักอาศัย โดยมีเทคโนโลยีไร้สายที่นิยมใช้เพื่อการเชื่อมต่ออุปกรณ์ดังกล่าวประกอบด้วย Wi-Fi, Bluetooth และเทคโนโลยีคลื่นสั้น (Short-length) แต่ปัจจุบันได้เกิดกระแสความสนใจในวงกว้างเกี่ยวกับเทคโนโลยี Ultra-Wideband ซึ่งคาดว่าจะเข้ามาเปลี่ยนแปลงระบบการสื่อสารข้อมูลครั้งใหญ่ ด้วยความสามารถที่มีเหนือกว่าเทคโนโลยีเดิมอย่าง Wi-Fi หรือ Bluetooth อย่างเห็นได้ชัด หากเราเปรียบเทียบ Ultra-Wideband กับเทคโนโลยีอื่นอย่าง Wi-Fi หรือ Bluetooth จะพบว่า Ultra-Wideband มีประสิทธิภาพเหนือกว่า เทคโนโลยีดังกล่าวทั้งด้านความเร็วในการรับ - ส่งข้อมูล, การใช้พลังงานที่ต่ำ รวมถึงความสามารถที่การรับส่งข้อมูลทะลุทะลวงผ่านสิ่งกีดขวางได้ดีกว่าเทคโนโลยีอื่นๆ โดย Ultra-Wideband จะมีความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลสูงสุดถึง 480 Mbps ที่ระยะทางประมาณ 2 m และความเร็ว 110 Mbps ที่ระยะทาง ประมาณ 10 m ซึ่งมากกว่ามาตรฐาน Wi-Fi ในปัจจุบันถึง 6 เท่า และยังมีการใช้กำลังงานที่ต่ำกว่ามาก ขณะที่ Wi-Fi สามารถรับส่งข้อมูลสูงสุดที่ 54 Mbps และหากนำมาเปรียบเทียบกับระบบ Bluetooth ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่กำลังได้รับความนิยมอย่างมากสำหรับเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคลและเป็นที่ยอมรับของผู้ผลิตโทรศัพท์มือถือ และพีซีเอทั่วโลกรวมถึงบริษัท ไมโครซอฟท์และบริษัทแอปเปิลคอมพิวเตอร์ แล้วนั้น Ultra-Wideband จะให้ความสามารถในการรับ-ส่งข้อมูลสูงกว่า Bluetooth ถึง 100 เท่าเลยทีเดียว



รูปที่ 2.1 มาตรฐาน Wireless Area Network

ซึ่งด้วยความเร็วในระดับดังกล่าว Ultra-Wideband จึงเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับใช้ในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ประเภทความบันเทิงภายในบ้าน โดยตัวอย่างที่เราจะเห็นในอนาคตอันใกล้ก็คือ การที่โทรทัศน์สามารถส่งรายการ ไปยังเครื่องรับ โทรทัศน์ หรือหน้าจอโทรทัศน์เครื่องอื่นๆ ได้แบบไร้สายโดย ไม่มีปัญหาการกระตุกของสัญญาณภาพ ไม่ว่าจะเครื่องรับโทรทัศน์นั้นจะติดตั้งอยู่ที่ใดภายในบริเวณบ้านก็ตาม, การเชื่อมต่อเพื่อการถ่ายโอนภาพจากกล้องวิดีโอไปยังคอมพิวเตอร์แบบไร้สายและหากเป็นการใช้งานภายในสำนักงาน Ultra-Wideband ก็จะเข้ามาช่วยลดความยุ่งยากในการติดตั้งสายเคเบิลต่างๆ ได้เป็นอย่างมากนอกจากนี้ Ultra-Wideband ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อการค้นหาวัตถุ โดยเทคโนโลยีนี้มีความสามารถในการอ่านตำแหน่งของวัตถุด้วยความแม่นยำที่อยู่ในระดับเซนติเมตรซึ่งจะถือได้ว่าอยู่ในระดับที่สูงมากเมื่อเทียบกับเทคโนโลยี GPS ที่ให้ความแม่นยำเพียงแค่หน่วยเมตร เท่านั้น แล้วยังสามารถใช้เป็นเครื่องเรดาร์ตรวจสอบได้ผิวดิน รวมถึงความสามารถในการจับภาพทะลุกำแพง ที่อาจจะนำมาเป็นเป็นอุปกรณ์ของตำรวจ ที่ใช้ในการตรวจสอบก่อนเข้าจับกุมคนร้ายได้

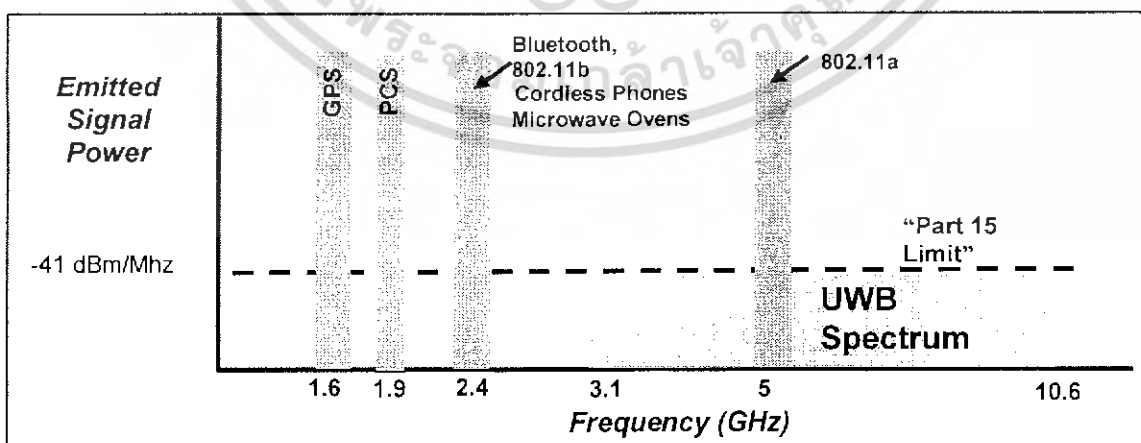
2.2 เทคโนโลยี Ultra-Wideband (UWB)

Ultra-Wideband นั้นถือเป็นวิวัฒนาการของเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย ที่สามารถส่งข้อมูลในรูปแบบดิจิทัลไปบนช่วงความถี่ที่กว้างมาก สามารถส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูง และมีการใช้กำลังส่งต่ำ Ultra-Wideband จึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการสื่อสารไร้สายระยะใกล้ และไกลได้ตามความแรงของสัญญาณ คุณสมบัติของ Ultra-Wideband ที่สามารถกำหนดความกว้างของช่วงความถี่ และความแรงของสัญญาณ เพื่อให้สะท้อนวัตถุได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นการค้า ไม่ว่าจะเป็นการนำเทคโนโลยีนี้มาใช้ในรถยนต์เพื่อใช้ในการตรวจจับวัตถุที่อยู่รอบๆ รถยนต์ หรือใช้ในการนำเทคโนโลยีนี้มาใช้ในทางการแพทย์เพื่อใช้ในการวินิจฉัยโรคต่างๆ ได้โดยไม่ต้องผ่าตัด นอกจากนี้ยังมีการนำเทคโนโลยีนี้มาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น การนำเทคโนโลยีนี้มาใช้ในอุตสาหกรรมเกษตรเพื่อใช้ในการตรวจสอบผลผลิตของพืชผลทางการเกษตร หรือใช้ในการนำเทคโนโลยีนี้มาใช้ในอุตสาหกรรมพลังงานเพื่อใช้ในการตรวจสอบการทำงานของเครื่องจักรกลต่างๆ ได้โดยไม่ต้องหยุดเครื่องจักร

เรดาร์ และเครื่องติดตามวัตถุได้ อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยีดังกล่าวเคยถูกห้ามนำมาใช้งานในช่วงระยะเวลาหนึ่ง อันเนื่องมาจากในช่วงเวลาแรกเทคโนโลยีดังกล่าว ได้รับการพัฒนาเพื่อการใช้งานในหน่วยงานทางทหารของสหรัฐอเมริกา รวมถึงความกังวล อันเนื่องมาจากความถี่ของการสื่อสาร Ultra-Wideband ที่แตกต่างไปจากความถี่วิทยุทั่วไป ซึ่งได้ส่งผลให้หลายฝ่ายกังวลว่าจะไปรบกวนระบบสื่อสารที่ใช้อยู่ในปัจจุบันอย่าง เช่น ระบบ GPS, ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ และระบบการบิน เป็นต้น

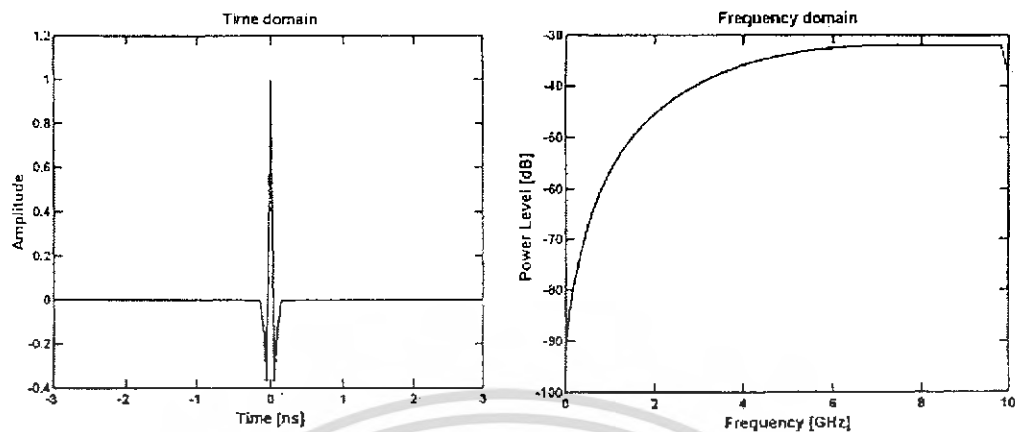
2.3 คุณลักษณะของเทคโนโลยี Ultra-Wideband

Ultra-Wideband หรือที่เรียกว่า ระบบแถบกว้างยังเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่แตกต่างจากการสื่อสารทางคลื่นความถี่วิทยุแบบอื่น คือ เป็นระบบสื่อสารที่ไม่ต้องใช้คลื่นพาหะ (Radio Frequency : RF) เหมือนในระบบอื่นจะเป็นการส่งผ่านข้อมูลแบบพัลส์ (Pulse) โดยจะเป็นพัลส์แคบๆ ขนาดประมาณ 0.2 ns (นาโนวินาที) ผ่านคลื่นวิทยุความถี่ที่กว้างมาก (Wide Spectrum) ทำให้สามารถถ่ายโอนข้อมูลจำนวนมากได้ในระยะทางสั้นๆ ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าสัญญาณพัลส์ที่ใช้มีขนาดที่แคบมาก จึงทำให้ duty cycle มีค่าต่ำ จึงเป็นสาเหตุทำให้ระบบมีการใช้พลังงานในระดับต่ำเพียง 0.0001 mW (มิลลิวัตต์ต่อเมกะเฮิร์ตซ์) โดยความแรงของสัญญาณไม่เกินระดับของการรบกวน (Background Noise) เท่ากับว่าข้อมูลจะถูกส่งไปใน Background Noise โดยที่ไม่ไปรบกวนการส่งสัญญาณของควมถี่ช่วงสัญญาณแคบอื่นๆ เลย โดยจะแผ่กระจายครอบคลุมช่วงความถี่ได้กว้างในระดับกิกะเฮิร์ต (GHz) ในรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงระดับความหนาแน่นแถบกำลังในระบบ Ultra-Wideband โดยเปรียบเทียบกับระบบอื่นๆ



รูปที่ 2.2 กำลังงานและความถี่ของระบบการสื่อสารแบบ Ultra-Wideband

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเมื่อเทียบกับระบบการสื่อสารในปัจจุบัน อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ลักษณะของสัญญาณพัลส์ใน โดเมนเวลา และ แถบกำลังงานของสัญญาณใน โดเมนความถี่

อีกทั้ง Ultra-Wideband นั้นมีความเร็วในการรับ-การส่งข้อมูลสูงสุดถึง 480 Mbps (เมกะบิตต่อวินาที) ที่ระยะทางประมาณ 2 เมตรและความเร็ว 110 Mbps ที่ระยะทาง 10 เมตร เทคโนโลยี Ultra-Wideband ได้รับการกำหนดให้อยู่ในมาตรฐานของ IEEE 802.15.3a มีย่านความถี่ที่ถูกกำหนดโดย Federal Communication Commission (FCC) อยู่ที่ 3.1 GHz - 10.6 GHz ซึ่งเป็นย่านความถี่เดียวกันกับการสื่อสารผ่านดาวเทียม ทั้งนี้การกำหนดความถี่ในย่านดังกล่าว จะช่วยป้องกันปัญหาการรบกวนของสัญญาณวิทยุ กับเทคโนโลยีสื่อสารภาคพื้นอื่นๆ ที่มีการใช้งานกันอยู่ในปัจจุบัน และนอกเหนือจากคุณสมบัติข้างต้นแล้ว Ultra-Wideband ยังได้รับการวางตำแหน่ง ในฐานะเทคโนโลยีที่สามารถใช้ประสิทธิภาพ ของคลื่นความถี่ได้คุ้มค่าที่สุดโดย Federal Communication Commission (FCC) สหรัฐอเมริกานั้น ตั้งความหวังไว้ว่าการสื่อสาร Ultra-Wideband จะเข้ามาช่วยลดปัญหาความขาดแคลนของช่องสัญญาณที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต เนื่องจากการแบ่งสรรช่วงความถี่ในปัจจุบันจะมีการกำหนดความถี่คลื่นสูงสุดและต่ำสุด และจะต้องมีคลื่นความถี่อีกช่วงหนึ่งซึ่งทำหน้าที่เป็นส่วนป้องกัน ไม่ให้คลื่นในแต่ละย่านความถี่รบกวนซึ่งกันและกัน ปัจจัยดังกล่าวส่งผลให้ทุกครั้งที่มีการจัดย่านความถี่ใหม่ ก็จะมีช่วงความถี่ที่ต้องสูญเสียไปมากขึ้นด้วย

2.3.1 จุดเด่นของระบบแบบ Ultra-Wideband

ถ้ากล่าวถึงระบบ Ultra-Wideband จะรวมถึงอิมพัลส์ (Impulse) พัลส์แคบ (Short-Pulse) สัญญาณที่ไม่ใช่ไซน์ซออยด์ (Non-Sinusoidal) สัญญาณที่ปราศจากคลื่นพาห้ (Carrier less) แถบกว้างยิ่งยวด (Super Wideband) การอัดพัลส์แบบเอฟเอ็่มอย่างรวดเร็ว (Fast Frequency Chirp) และพัลส์แบบโมโน (Mono-Pulse) [Taylor, 1995] ซึ่งเป็นระบบที่มีจุดเด่นที่น่าสนใจ สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในการสื่อสารแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และห้ามการซ้ำหรือการนำข้อมูลไปใช้โดยไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
- เป็นระบบที่มีความซับซ้อนและต้นทุนต่ำ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความซับซ้อน และต้นทุนที่ต่ำของการสื่อสารในระบบ Ultra-Wideband เกิดขึ้นจากปัจจัยทางลักษณะเบสแบนด์ (Base Band) ของการส่งสัญญาณ ไม่เหมือนกับระบบการส่งสัญญาณวิทยุแบบอื่นๆ โดยที่เครื่องส่งจะทำการสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณน้อยมากๆ ในโดเมนทางเวลา ซึ่งสามารถที่จะแพร่กระจายคลื่นออกไปได้โดยปราศจากการเพิ่มความถี่วิทยุหรือคลื่นพาห์รวมเข้าไปและในส่วนของการรวมสัญญาณวิทยุนั้นจะเป็นการเอาสัญญาณแบบเบสแบนด์รวมเข้าไปกับสัญญาณคลื่นพาห์ (Carrier) เพื่อการย้ายสัญญาณไปยัง แถบความถี่ที่มีคุณลักษณะในการแพร่กระจายคลื่น ตามต้องการซึ่งสัญญาณจะถูกแพร่กระจายได้ดี โดยปราศจากความถี่ในการเพิ่มการแปลงความถี่ให้มีค่าสูงขึ้น (Up-Conversion) และในการเพิ่มระดับกำลังของสัญญาณให้สูงขึ้น (Amplification) โดยในกระบวนการกลับกัน การแปลงความถี่ต่ำลง (Down-Conversion) และตัวผลิตความถี่ (Local Oscillator) จึงไม่จำเป็นในเครื่องรับแบบแถบกว้างยิ่งด้วยเช่นกันทำให้ลดความซับซ้อนของระบบ และต้นทุนที่ใช้ในการผลิตลงไปเป็นอย่างมาก

- มีระดับของสัญญาณใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวน (Noise)

จากความหนาแน่นของพลังงานที่ต่ำ และลักษณะเฉพาะในการสุ่มเทียบของสัญญาณที่ใช้ส่งจึงทำให้สัญญาณแบบ Ultra-Wideband นี้มีลักษณะคล้ายกับสัญญาณรบกวนซึ่งทำให้การตรวจหาสัญญาณทำได้ยาก และยังปรากฏในเอกสารทางการวิจัยว่าการส่งสัญญาณแบบ Ultra-Wideband นั้นไม่ก่อให้เกิดผลการแทรกสอดของสัญญาณ ที่มีต่อระบบคลื่นความถี่วิทยุอื่นๆ เนื่องจากสัญญาณของระบบการสื่อสาร Ultra-Wideband นั้นมีการแพร่กระจายกำลังงานในระดับต่ำมากโดยจะอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวน (Noise Floor) จึงทำให้ระบบอื่นมองว่าสัญญาณแบบ Ultra-Wideband นี้คือสัญญาณรบกวนเลยถูกกำจัดออกจากพิจารณาของระบบ

- มีความต้านทานต่อคลื่นหลายวิถี (Multi-Path)

และการรบกวนของสัญญาณใกล้เคียงในระบบการมอดูเลตทางเวลา (Time Modulation) แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะทำการส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงในระดับร้อยเมกะบิตต่อวินาที อีกทั้งยังได้ถูกประเมินในส่วนของจำนวนของผู้ใช้งาน ในระบบการสื่อสารแบบคลื่นวิทยุแบบอิมพัลส์ว่าได้จำนวนที่มากกว่าระบบทั่วไป และเนื่องด้วยมีแบนด์วิดท์ของสัญญาณส่งที่กว้างจึงทำให้ได้รับผลจากคลื่นหลายวิถีอย่างมาก เมื่อระบบมีแบนด์วิดท์ที่กว้างนั้นทำให้เกิดความแตกต่างทางความถี่เป็นอย่างมาก ซึ่งเมื่อรวมเข้ากับการส่งสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องจึงทำให้สัญญาณแบบ Ultra-Wideband ที่มีการมอดูเลตทางเวลานั้น มีความต้านทานต่อการแพร่กระจายของคลื่นหลายวิถีรุนแรง และการรบกวนหรือแทรกสอดจากสัญญาณความถี่ใกล้เคียงได้

- มีความละเอียดสูงในโดเมนเวลาสำหรับกำหนดตำแหน่ง และการนำมาประยุกต์ใช้

ในระบบติดตาม (Tracking)
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยพัลส์ที่มีลักษณะทางโดเมนเวลาที่แคบมากๆ หรืออาจกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่าเป็นพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณน้อยมากๆ นั่นหมายถึง ระบบคลื่นวิทยุแบบ Ultra-Wideband มีความเป็นไปได้สูงที่จะสามารถควบคุมจังหวะ และการคำนวณเวลาได้อย่างถูกต้องแม่นยำมากกว่าระบบดาวเทียมบอกพิกัด (Global Positioning System : GPS) และระบบคลื่นวิทยุแบบอื่นๆ อีกทั้งด้วยคุณสมบัติในการทะลุผ่านวัสดุได้ดีจึงทำให้สัญญาณแบบ Ultra-Wideband ที่มีการมอดูเลตทางเวลาถูกนำมาใช้งานในระบบของเรดาร์ระยะสั้น เช่น ในการช่วยเหลือชีวิตและปฏิบัติการป้องกันอาชญากรรม เช่นเกี่ยวกับการใช้ในงานสำรวจและในอุตสาหกรรมการทำเหมือง เป็นต้น

2.4 กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารแบบ Ultra-Wideband

สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ได้ถูกกำหนดขึ้นในการสื่อสารแบบ Ultra-Wideband นั่นคือการจัดสรรความถี่ในการใช้งานซึ่งได้มีกลุ่มทำงานในสหรัฐอเมริกาได้พยายามทำการจำกัดของข้อกำหนดในการใช้งานช่วงความถี่ของเทคโนโลยี Ultra-Wideband จากกฎข้อบังคับเดิมของคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา โดยกลุ่มงานนี้ก็ก่อตั้งขึ้นอย่างเป็นทางการโดยใช้ชื่อว่า Ultra-Wideband Working Group (UWBWG) เพื่อทำการเจรจาข้อตกลงร่วมกับ FCC เช่นเดียวกันกับในยุโรปก็ได้มีการหาข้อตกลงการจัดสรรคลื่นความถี่และการสอดแทรกของความถี่วิทยุ ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีข้อกำหนดแถบความถี่สำหรับการใช้งานในระบบแถบกว้างในสถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป (European Telecommunications Standards Institute : ETSI) หรือ สหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union : ITU)

2.4.1 กฎข้อบังคับของระบบ Ultra-Wideband ในสหรัฐอเมริกา

ในปี ค.ศ. 1998 FCC ได้ออกประกาศเกี่ยวกับการตรวจสอบหรือ Notice of Inquiry (NOI) โดยถึงแม้ว่าจะได้คาดการณ์ถึงระดับกำลังงาน ที่ใช้ในการส่งผ่านสัญญาณที่มีระดับต่ำมากแล้วก็ตาม ยังมีกลุ่มผู้ที่สนับสนุนในระบบเดิม ที่มีใช้งานกันอยู่ได้ทำการต่อต้านการนำระบบ Ultra-Wideband มาใช้งานสำหรับการสื่อสารของพลเรือนซึ่งเรียกรวมโดยมากจะเกี่ยวข้องกับ การคาดการณ์ถึงการเพิ่มขึ้นของระดับการสอดแทรกในแถบความถี่ที่มีอยู่อย่างจำกัด อาทิเช่น แถบความถี่ในการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ แถบความถี่ที่สำรองไว้สำหรับคลื่นวิทยุทางดาราศาสตร์ และระบบ GPS โดยที่องค์กรบริหารการบินแห่งสหรัฐอเมริกาหรือ Federal Aviation Administration (FAA) ได้แสดงความเป็นห่วงต่อการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปลอดภัยในกิจการการบิน และทิศทางในการค้นคว้าเกี่ยวกับเครื่องส่งในระบบ Ultra-Wideband ด้วยเช่นกัน

เมื่อเทคโนโลยี Ultra-Wideband ได้ถูกนำเสนอสำหรับการนำมาใช้ในงานกิจการการสื่อสารของพลเรือน ซึ่งยังไม่ได้มีการกำหนดใดๆ สำหรับลักษณะสัญญาณที่จะนำมาใช้ จึงได้มีหน่วยงานหนึ่งที่ชื่อว่า DARPA (Defense Advanced Research Project Agency) ได้ทำการออกข้อกำหนดฉบับที่หนึ่งสำหรับสัญญาณแบบ Ultra-Wideband ซึ่งอยู่บนพื้นฐานอัตราส่วนแบนด์วิดท์ (B_f) ของสัญญาณโดยต้องมีค่ามากกว่า 0.25 โดยสามารถกำหนดได้ตามสมการที่ (2.1) (Taylor, 1995)

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

โดยที่ f_L คือความถี่ต่ำสุด และ f_H คือ ความถี่สูงของแถบความถี่ที่ใช้งานในระบบการสื่อสาร Ultra-Wideband

ในวันที่ 14 กุมภาพันธ์ ปี ค.ศ. 2002 FCC ได้ออกกฎส่วนรับระบบ Ultra-Wideband ซึ่งเป็นการกำหนดขอบเขตของการแพร่กระจายกำลังงานฉบับที่หนึ่งสำหรับระบบ Ultra-Wideband และยังอนุญาตให้เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในลักษณะทางการค้าอีกด้วย โดยรายงานล่าสุดของคำประกาศและระเบียบการฉบับที่หนึ่งได้เผยแพร่ต่อสาธารณชนในวันที่ 22 เดือนเมษายน ปี ค.ศ. 2002 ซึ่งในเอกสารได้กล่าวถึงการอนุญาตใช้งานในระบบ Ultra-Wideband ทั้ง 4 ประเภทและการกำหนดขอบเขตการแพร่กระจายพลังงานสำหรับการใช้ในประเภทต่างๆ โดยจากนิยามข้างต้นได้ทำการลดค่าการจำกัด 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต การค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

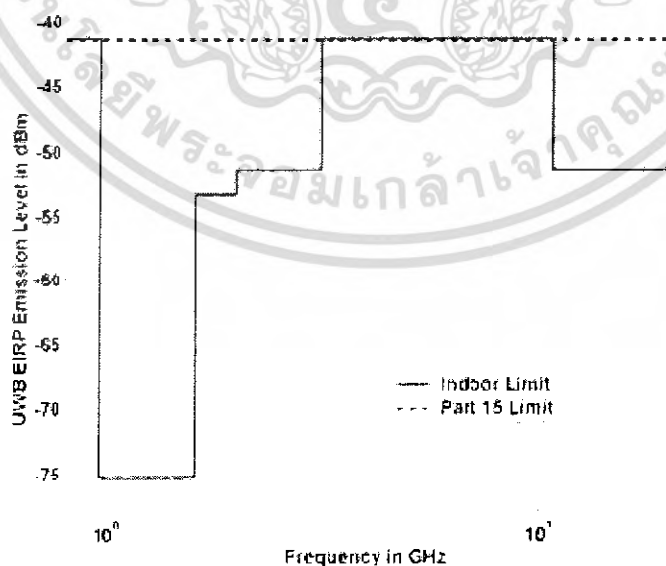
2.4.2 กฎข้อบังคับของระบบ Ultra-Wideband ในยุโรป

ปัจจุบัน โครงร่างของข้อกำหนดระบบ Ultra-Wideband ในทวีปยุโรปอยู่ในช่วงรอข้อมูลทางเทคนิคที่เกี่ยวกับผลกระทบของระบบ Ultra-Wideband บนระบบเดิมที่มีใช้กันอยู่โดยทางยุโรปนั้นบางส่วนของข้อกำหนดจะรัดกุมกว่าของทางสหรัฐอเมริกา เพราะทางด้านยุโรปนั้นในส่วนของเทคโนโลยีใหม่ต้องแสดงให้เห็นว่าส่งผลกระทบน้อยหรือไม่ส่งผลกระทบเสียหายต่อระบบเดิมที่มีอยู่โดยข้อกำหนดการแพร่กระจายกำลังงานสำหรับการใช้งานทั้งภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย ITU หรือ ETSI แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงาน โดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร

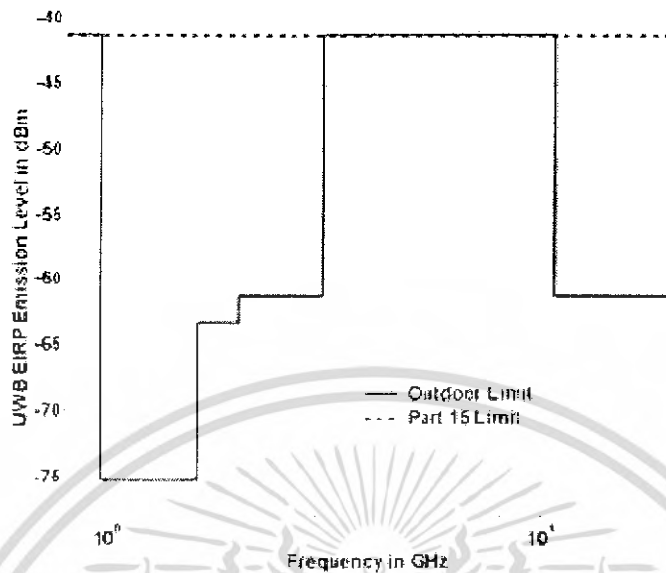
	Frequency range(GHz)		
	$f < 3.1$	$3.1 < f < 10.6$	$f > 10.6$
Indoor mask	$-51.3+87\log(f/3.1)$	-41.3	$-51.3+87\log(f/10.6)$
Outdoor mask	$-61.3+87\log(f/3.1)$	-41.3	$-61.3+87\log(f/10.6)$

โดยในรูปที่ 2.4 และ 2.5 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่ของระบบ Ultra-Wideband ระหว่าง FCC และ ETSI ภายในและภายนอกอาคารตามลำดับ



รูปที่ 2.4 ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย FCC และ ETSI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเอกสารที่ปรึกษาเท่านั้นและไม่ได้มีเจตนาให้ใช้ประโยชน์ด้านการค้าของระบบ Ultra-Wideband ภายในอาคาร อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่ โดย FCC และ ETSI
ของระบบ Ultra-Wideband ภายนอกอาคาร

2.5 รูปแบบของสัญญาณในระบบการสื่อสารแบบ Ultra-Wideband

2.5.1 คำจำกัดความของสัญญาณ Ultra-Wideband

ถ้าจะกล่าวถึงลักษณะเฉพาะ โดยทั่วไปของสัญญาณ Ultra-Wideband และระบบของสัญญาณแล้วก็น่าจะเกี่ยวกับการสื่อสารแบบ Ultra-Wideband และระบบการวัด เช่น การสื่อสารความเร็วสูงภายในบ้านหรือแม้กระทั่งอุปกรณ์เครือข่ายทางธุรกิจ โดยอุปกรณ์นั้นต้องทำงานอยู่ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ซึ่งอุปกรณ์นั้นจะถูกออกแบบเพื่อให้แน่ใจว่าสามารถที่จะทำงานได้ในอาคารเท่านั้นหรือต้องเข้ากันได้กับอุปกรณ์ขนาดมือถือ ซึ่งอาจจะถูกนำมาใช้ในลักษณะการสื่อสารแบบจุดต่อจุด โดยตัวแพร่กระจายคลื่น Ultra-Wideband นั้นต้องทำการออกแบบและตรวจสอบเพื่อรับรองว่าการแพร่กระจายคลื่นในช่วงแบนด์วิดท์ ตั้งแต่ 20 dB ลงมาจากระดับสูงสุดของสเปกตรัมที่กำหนดไว้ต้องอยู่ในแถบความถี่ของระบบ Ultra-Wideband อีกทั้งช่วงแบนด์วิดท์ที่น้อยที่สุดวัด ณ ตำแหน่งที่ต่ำกว่าระดับสูงสุดของการแพร่กระจายลงมา 10 dBm หรือเท่ากับ 500 MHz โดยระดับที่ขอมให้แพร่กระจายกำลังงานสำหรับสัญญาณแบบ Ultra-Wideband นั้นถูกกำหนดไว้ที่ $-41.3 \text{ dBm} / \text{MHz}$ ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานกำหนดใช้รูปแบบของสัญญาณในระบบ Ultra-Wideband แต่โดยทั่วไปมักจะนิยมใช้สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และสามารถที่จะแยกเป็นประเภทต่างๆ ของสัญญาณได้ดังนี้

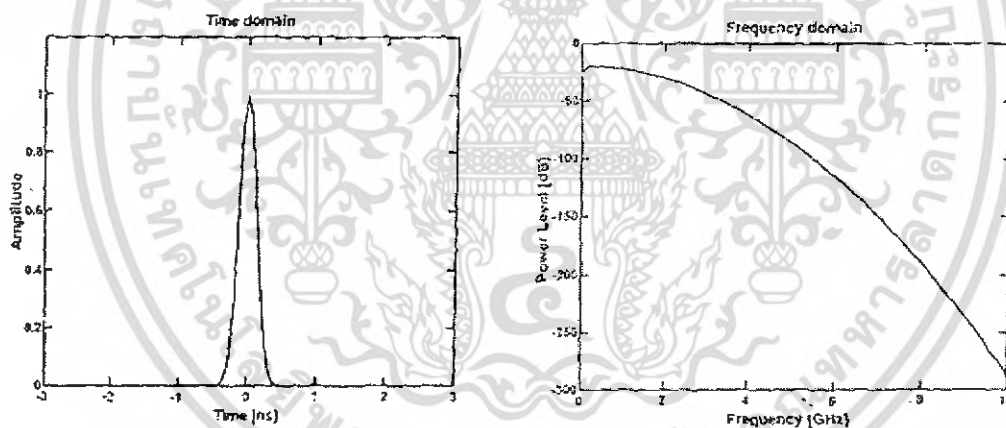
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียน (Gaussian pulse)

ประเภทของรูปคลื่นที่เรียกว่ารูปคลื่นแบบเกาส์ (Gaussian Waveform) นั้นได้มาจากการที่มีนิยามทางคณิตศาสตร์เหมือนกับฟังก์ชันเกาส์เซียน ซึ่งมีลักษณะเป็นทรงระฆังคว่ำโดยส่วนสำคัญของรูปคลื่นแบบเกาส์เซียนนั้นคือ พัลส์แบบเกาส์เซียนซึ่งมีนิยามเป็นไปตามสมการที่ (2.2) และแสดงรูปคลื่นของสัญญาณดังรูปที่ 2.6

$$s(t) = A \exp^{-\left[\frac{(t-T_c)}{\tau}\right]^2} \quad (2.2)$$

โดยที่ A คือ ขนาดของสัญญาณ
 τ คือ ค่าตัวแปรของสัญญาณพัลส์ (Pulse Shape Parameter)
 T_c คือ ค่าคาบเวลาของสัญญาณชีพ



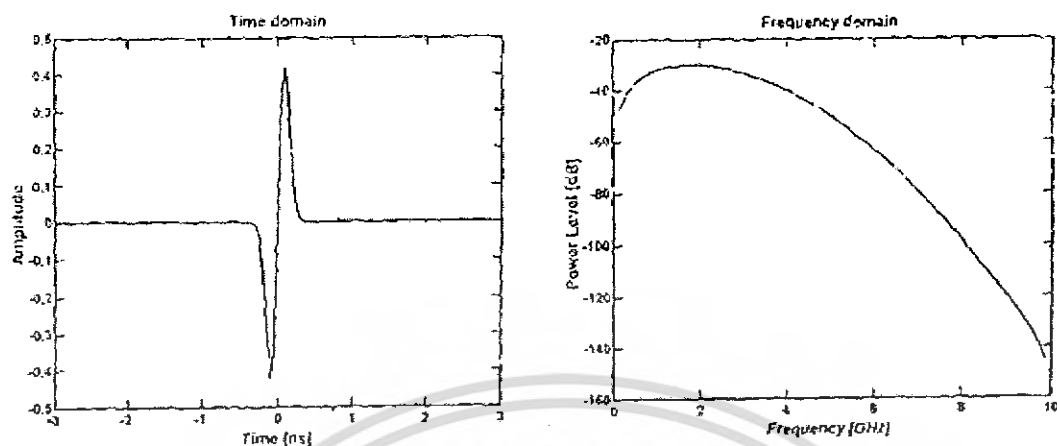
รูปที่ 2.6 รูปสัญญาณพัลส์แบบเกาส์ทั้งใน โดเมนเวลาและ โดเมนความถี่

2.5.3 สัญญาณพัลส์แบบโมนไซเคิล (Monocycle pulse signal)

สัญญาณพัลส์แบบเกาส์โมนไซเคิล (Gaussian Monocycle) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าอนุพันธ์อันดับหนึ่งของพัลส์แบบเกาส์โดยมีรูปแบบตามสมการที่ (2.3) และแสดงรูปสัญญาณดังรูปที่ 2.7

$$s(t) = \frac{2A}{\tau} \sqrt{\exp} \times \exp^{-2x\left[\frac{(t-T_c)}{\tau}\right]^2} \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

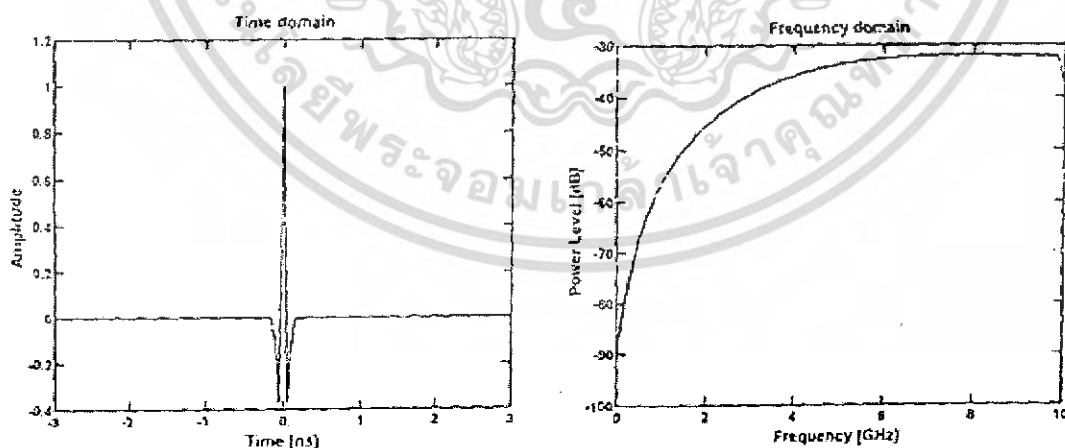


รูปที่ 2.7 รูปสัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนโมโนไซเคิลทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่

2.5.4 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนดับเบิล (Gaussian doublet)

สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนดับเบิล (Gaussian doublet) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าอนุพันธ์อันดับสองของพัลส์แบบเกาส์เซียน โดยมีรูปแบบตามสมการที่ (2.4) และแสดงรูปสัญญาณดังรูปที่ 2.8

$$s(t) = \left[1 - 4\pi \left(\frac{t}{\tau_m} \right)^2 \right] \exp \left[-2\pi \left(\frac{t}{\tau_m} \right)^2 \right] \quad (2.4)$$



รูปที่ 2.8 รูปสัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนดับเบิลทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 เทคนิคการมอดูเลตในระบบการสื่อสารแบบ Ultra-Wideband

การส่งข้อมูลข่าวสารในระบบ Ultra-Wideband นั้นมีความจำเป็นต้องทำการเพิ่มส่วนของข้อมูลข่าวสารที่เป็นดิจิทัลเข้าไปในสัญญาณพัลส์แบบอนาล็อกหรือในความหมายของการมอดูเลต โดยในระบบ Ultra-Wideband นั้นมีวิธีการมอดูเลตอยู่มากมายที่ถูกนำมาใช้ ซึ่งในที่นี้จะขอ ยกตัวอย่างถึงวิธีการทั่วไปของการมอดูเลตดังนี้

2.6.1 การมอดูเลตทางขนาดของพัลส์

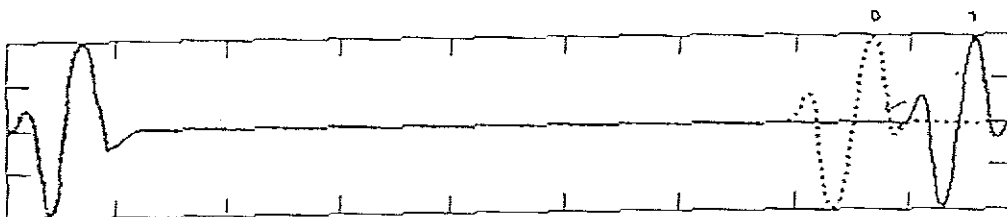
การมอดูเลตสัญญาณทางขนาดของพัลส์ (PAM) นั้นจะต้องอยู่บนพื้นฐานการเข้ารหัสสัญญาณข้อมูลกับ ขนาดของสัญญาณพัลส์ โดยที่ในรูปที่ 2.9 แสดงสัญญาณ Ultra-Wideband ที่ทำการมอดูเลตแบบพัลส์ ตามขนาด โดยมีทั้งหมด 4 ระดับ



รูปที่ 2.9 สัญญาณที่ทำการมอดูเลตแบบพัลส์ตามขนาด 4 ระดับ

2.6.2 การมอดูเลตทางตำแหน่งของพัลส์

การมอดูเลตสัญญาณทางตำแหน่ง (PPM) นั้นจะทำการเข้ารหัสสัญญาณข้อมูลตามตำแหน่งของสัญญาณพัลส์ โดยที่ตำแหน่งของสัญญาณพัลส์ที่ใช้แทนสัญญาณข้อมูลสามารถมีได้สองตำแหน่ง หรือมากกว่านั้น โดยมีในรูปที่ 2.10 แสดงการมอดูเลตสัญญาณพัลส์ตามตำแหน่งปกติ (Nominal – Position) และบิต “ 1 ” จะแทนตำแหน่งพัลส์ที่อยู่ก่อนตำแหน่งแรก โดยช่วงเวลาประวิงเวลาระหว่างตำแหน่งของสัญญาณทั้งสองต้องมีค่าที่มากพอที่จะไม่ทำให้เกิดการแทรกสอดกันระหว่างสัญญาณอิมพัลส์



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 2.10 สัญญาณที่ทำการมอดูเลตทางตามตำแหน่งของพัลส์ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3 การมอดูเลตแบบสองเฟส

การมอดูเลตสัญญาณแบบสองเฟส (Bi - phase) นั้นจะอยู่พื้นฐานของการเข้ารหัสสัญญาณข้อมูลตามเฟสของสัญญาณพัลส์โดยที่ในกรณีนี้จะแทนสัญญาณข้อมูลหนึ่งบิตด้วยสัญญาณพัลส์หนึ่งลูกคลื่น ซึ่งการมอดูเลตสัญญาณพัลส์แบบสองเฟส แสดงได้ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 สัญญาณที่ผ่านการมอดูเลตแบบสองเฟส

2.7 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex)

เทคนิคนี้ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มความเร็วในการส่งข้อมูลในมาตรฐานใหม่ๆ ของระบบเครือข่ายไร้สายคือ IEEE 802.11a และ IEEE 802.11g การส่งสัญญาณคลื่นวิทยุแบบนี้เป็นการมัลติเพล็กซ์รวมสัญญาณ โดยช่องสัญญาณความถี่ จะถูกแบ่งออกเป็นความถี่พาหะย่อย (Subcarrier) หลายๆ ความถี่ โดยแต่ละความถี่พาหะย่อยจะตั้งฉากซึ่งกันและกัน ทำให้มันเป็นอิสระต่อกัน ความถี่ที่คลื่นพาหะที่ตั้งฉากกันนั้นทำให้ไม่มีปัญหาการซ้อนทับกันของสัญญาณที่อยู่ติดกัน

OFDM เป็นเทคนิคการมัลติเพล็กซ์ โดยการแบ่งความถี่ เมื่อช่องความถี่ถูกแบ่งออกเป็นขนาดเล็กๆ N ช่องแต่ละช่องมีขนาดเท่ากับขนาดของสัญลักษณ์ (Bit rate) ดิจิตอลทางด้านสัญญาณ ดิจิตอลความเร็วสูงที่ถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มข้อมูลย่อยๆ ที่มีความถี่ต่ำกว่าจะถูกมอดูเลตกับสัญญาณพาหะย่อย 1 สัญญาณ และนำสัญญาณทั้งหมดส่งขนานกันออกไป รูปแบบในการมอดูเลตสัญญาณพาหะย่อยที่นิยมทั่วไปได้แก่ QAM, 16 QAM หรือ 64 QAM เป็นต้น ใน OFDM กลุ่มของข้อมูลจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปขนานกัน โดยการมอดูเลตกับสัญญาณพาหะย่อย ดังนั้นจะกลายมาเป็นสัญญาณบนแกนความถี่ ซึ่งการแปลงสัญญาณกลับให้อยู่ในบนแกนเวลาอีกครั้ง โดยการแปลงกลับฟาส์ฟูเรียร์ (IFFT) จากนั้นสัญลักษณ์บนแกนเวลาจะถูกมัลติเพล็กซ์เข้าด้วยกันได้เป็นอนุกรมของสัญญาณแล้วจึงส่งสัญญาณออกไปทางเสาอากาศ

หลังจากการมอดูเลตแบบ OFDM จะมีการสอดแทรกช่วงแถบป้องกันแคบๆ เพื่อลดสัญญาณรบกวนระหว่างสัญลักษณ์ (Inter Symbol Interference : ISI) ที่เกิดจากสัญญาณหลายเส้นทาง (Multi-path) เรนเรียกแถบป้องกันแคบๆ นี้ว่า การเสริมไซคลิก (Cyclic prefix) ส่วนในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่เช่นงานวิชาการ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องรับจะดำเนินกระบวนการตรงข้ามกับเครื่องส่ง และในเครื่องรับจะทำการแปลงฟาสท์ฟูเรียร์แปลงสัญญาณที่อยู่บนแกนเวลาไปเป็นแถบความถี่ผสมมูล

ข้อดี ของ OFDM คือ สามารถใช้งานแถบความถี่ในระบบที่เคชใช้สัญญาณพาหะเดี่ยวได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Spectral Efficiency) สามารถป้องกันผลกระทบจากเคลื่อนที่ของสัญญาณหลายเส้นทาง (Immunity to Multi - Path) และมีความไวต่ำต่อการเลื่อนหายไปของความถี่ที่เลือก (Less Sensitivity to Frequency Selective Fading)

2.8 แพนทเทอร์นการแพร่กระจายคลื่น

แพนทเทอร์นการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern) คือ รูปภาพที่ใช้เพื่อแสดงคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งเป็นฟังก์ชันของสเปซโคออดิเนต (Space Coordinate) ส่วนใหญ่แพนทเทอร์นการแพร่กระจายคลื่นนี้มักจะคิดในบริเวณที่เป็นสนามระยะไกล (Far Field)

การอธิบายคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่น จะอาศัยคุณสมบัติต่างๆ ดังต่อไปนี้คือ ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Intensity) ความเข้มของสนาม (Field Strength) เฟส (Phase) หรือโพลาไรเซชัน (Polarization) ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ใช้เพื่อแสดงการแจกแจงของพลังงานเป็นฟังก์ชันของตำแหน่งสามมิติที่สังเกตที่มีรัศมีคงที่

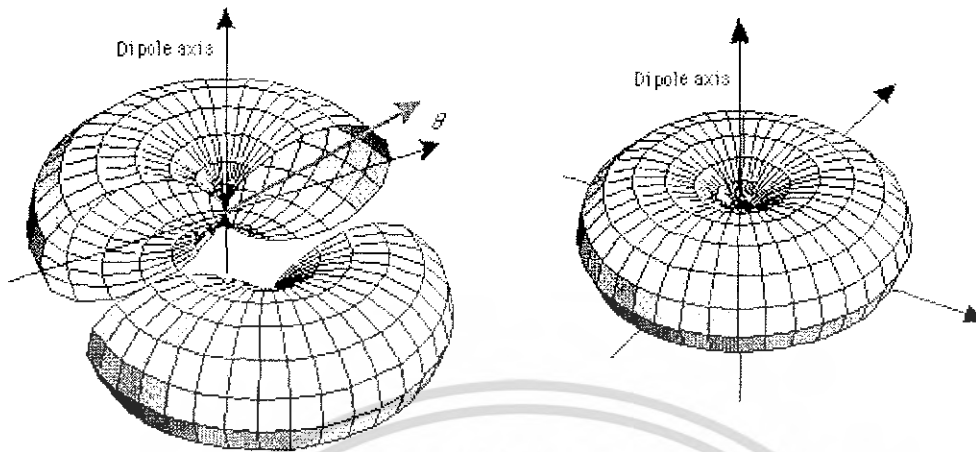
รูปที่ 2.12 แสดงระบบโคออดิเนตที่ใช้แสดงคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นสำหรับการใช้เส้นเพื่อแสดงกำลังงานที่สายอากาศรับได้ตามแนวรัศมีที่มีค่าคงที่ มีชื่อเรียกว่าแพนทเทอร์นกำลังงาน (Power Pattern) ของสายอากาศ และกราฟที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้าในทิศทางต่างๆ ที่มีรัศมีคงที่ มีชื่อเรียกว่า แพนทเทอร์นสนาม (Field pattern) ของสายอากาศนั้น

2.8.1 แพนทเทอร์นแบบไอโซโทรปิก, ไดรเรกชันแนล และออมนิไดเรกชันแนล

ตัวแพร่คลื่นไอโซโทรปิก (Isotropic Radiator) คือ สายอากาศที่ถูกสมมุติขึ้น โดยมีคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นเท่ากันในทุกทิศทาง ยกตัวอย่าง เช่น พอยท์ซอร์ส (Point Source) เป็นสายอากาศแบบหนึ่งที่ไม่สามารถสร้างได้จริง แต่มักจะใช้เพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบกับสายอากาศจริงเกี่ยวกับการแสดงคุณสมบัติ แสดงทิศทางของสายอากาศ

สายอากาศชี้ทิศทาง (Directional Antenna) เป็นสายอากาศซึ่งมีคุณสมบัติของการส่งหรือรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดี ในเฉพาะทิศทางที่กำหนดเท่านั้น ตัวอย่างหนึ่งของสายอากาศที่มีคุณสมบัติดังกล่าวคือ สายอากาศแบบอมนิไดเรกชันแนล (Omni Directional Antenna) คุณสมบัติของสายอากาศแบบนี้มีดังแสดงในรูปที่ 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 แพทเทิร์นของสายอากาศทิศทาง (ออมนิไดเรกชันแนล)

2.8.2 แพทเทิร์นหลัก

เรามักจะอธิบายคุณสมบัติของสายอากาศในทอมของแพทเทิร์นหลัก (Principal Pattern) ของสนามไฟฟ้า E และสนามแม่เหล็ก H สำหรับสายอากาศลิเนียร์ลิโพลาไรเซชัน (Linearly Polarization) แพทเทิร์นในระนาบ E จะเป็นระนาบที่บรรจุเวกเตอร์สนามไฟฟ้าและทิศทางของการแพร่กระจายคลื่นที่แรงที่สุด ส่วนแพทเทิร์นในระนาบ H จะเป็นระนาบที่บรรจุเวกเตอร์สนามแม่เหล็ก และทิศทางของการแพร่กระจายคลื่นที่แรง

2.8.3 โลบของแพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่น

โอบของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Lobe) เป็นส่วนหนึ่งของแพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดเป็นบริเวณ โดยการปิดล้อมของส่วนที่มีความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นต่ำ รูปที่ 2.13 แสดงโพลาไรแพทเทิร์น (Polar Pattern) แบบสามมิติ ซึ่งแบ่งเป็น โอบแบบต่างๆ ดังนี้

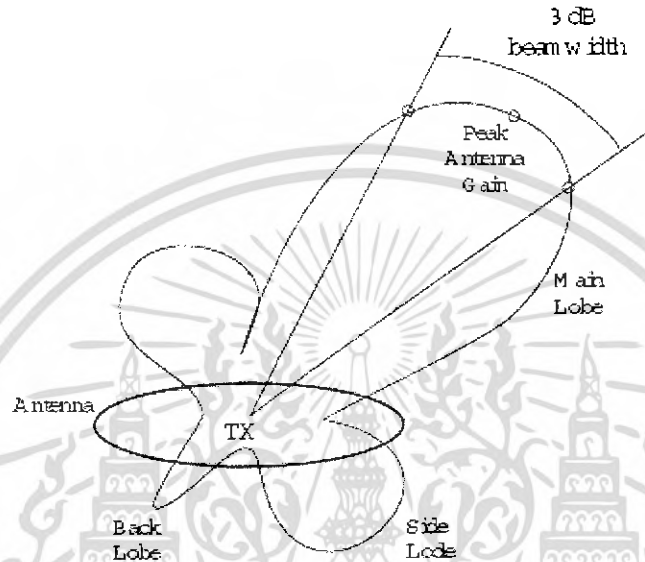
โอบหลัก (Major Lobe หรือ Main Lobe) เป็นโอบของการแพร่กระจายคลื่นซึ่งอยู่ในทิศทางที่มีการแพร่กระจายคลื่นแรงที่สุด ตามรูปที่ 2.13 มีโอบหลักอยู่ในทิศทาง $\theta = 0$ สำหรับสายอากาศบางชนิด อาจมีโอบหลักมากกว่าหนึ่งโอบ เช่น สายอากาศแยกปีม (Split Beam-Antenna)

โอบย่อย (Minor Lobe) ได้แก่โอบอื่นๆ นอกเหนือไปจากโอบหลัก

โอบข้าง หรือไซด์โอบ (Side Lobe) เป็นโอบย่อยที่อยู่ติดกับโอบหลัก และอยู่ในทิศทางบนครึ่งวงกลมซีกเดียวกับโอบ

โอบหลัง (Back Lobe) เป็นโอบย่อยที่อยู่ในครึ่งวงกลมตรงข้าม กับโอบหลักปกติ แล้วโอบย่อยจะเกิดจากการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางที่ไม่ต้องการ ดังนั้นสำหรับสายอากาศที่ดีจะต้องกำจัดโอบเหล่านี้ให้น้อยที่สุด ระดับของโอบย่อยมักจะแสดงเป็นอัตราส่วนของความไม่ว่การมีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนาแน่น ของพลังงานในโลบ ที่กำลังคิดต่อความหนาแน่นของพลังงานในโลบหลัก ซึ่งจะเรียกว่า อัตราส่วนของไซด์โลบ (Side Lobe Ratio) หรือระดับของไซด์โลบ (Side Lobe Level : SLL) ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปนั้นมักจะต้องการให้ระดับของไซด์โลบน้อยกว่า -20 dB



รูปที่ 2.13 การแบ่งบริเวณของสนามจากสายอากาศ

2.8.4 บริเวณต่างๆ ของสนามจากสายอากาศ

โดยทั่วไปมักจะแบ่งบริเวณที่ล้อมรอบสายอากาศเป็น 3 ส่วน คือสนามรีแอกทีฟระยะใกล้ (Reactive – Near Field) สนามกระจายระยะใกล้ (Radiating – Near Field) และสนามระยะไกล (Far Field)

บริเวณสนามรีแอกทีฟระยะใกล้ เป็นบริเวณสนามที่ล้อมรอบใกล้สายอากาศมากที่สุด และมีสนามเป็นชนิดรีแอกทีฟเป็นส่วนใหญ่ บริเวณนี้จะมีระยะทาง $R < 0.62 \sqrt{D^2/\lambda}$ จากผิวของสายอากาศเมื่อ λ เป็นความยาวคลื่น และ D เป็นมิติที่ยาวที่สุดของสายอากาศ

บริเวณสนามกระจายระยะใกล้ เป็นบริเวณสนามของสายอากาศที่อยู่ระหว่างบริเวณของสนามรีแอกทีฟระยะใกล้กับบริเวณสนามระยะไกล โดยมีสนามที่กระจายอยู่เป็นส่วนใหญ่ และการกระจายของสนามตามมุมต่างๆ นั้น แปรผันตามระยะทางจากสายอากาศเมื่อสายอากาศมีขนาดเล็กโดยเทียบกับความยาวคลื่น สนามในบริเวณนี้อาจไม่เกิดขึ้น

$$\text{ในบริเวณนี้จะมีระยะทาง} = 0.62\sqrt{D^2/\lambda} \leq R \leq 2D^2/\lambda$$

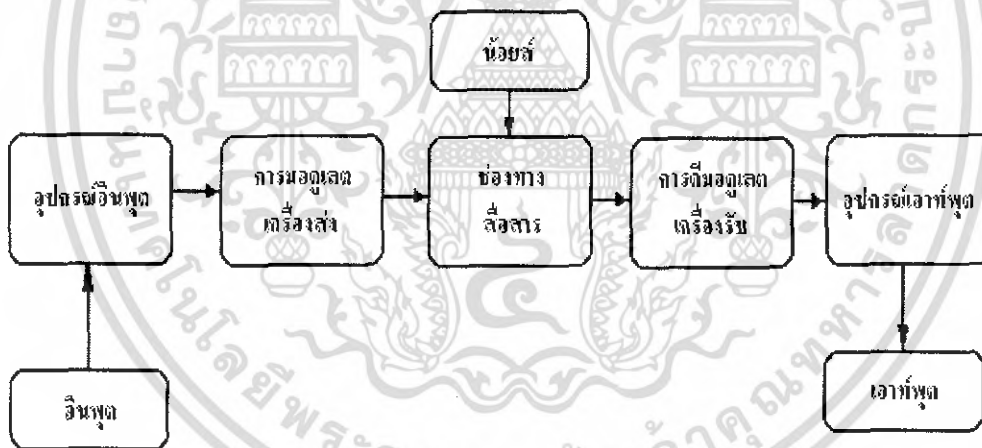
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริเวณสนามระยะไกล เป็นบริเวณสนามของสายอากาศซึ่งการแพร่ของสนามของสายอากาศตามมุมต่างๆ ไม่ขึ้นกับระยะทางจากสายอากาศ ถ้าสายอากาศมีมิติใหญ่ที่สุดเท่ากับ D บริเวณสนามระยะไกลจะเกิดขึ้นที่ระยะทาง R มากกว่า $2D^2/\lambda$ จากสายอากาศ

ในบริเวณนี้สนามมีลักษณะเป็นสนามตัดขวาง (Transverse Field) และการแพร่กระจายของสนามตามมุมต่างๆ ไม่ขึ้นกับระยะทาง ขอบในของบริเวณดังกล่าวมีค่า R เท่ากับ $2D^2/\lambda$ และขอบนอกเป็นอนันต์

2.9 ระบบสื่อสารโดยพื้นฐาน

ในระบบสื่อสารไม่ว่าจะเป็นในระบบใดก็ตามแผนผังโดยพื้นฐานมักเหมือนกับ รูปที่ 2.14 ซึ่ง จะสังเกตเห็นว่า ระบบสื่อสารโดยพื้นฐานประกอบด้วยอุปกรณ์อินพุต (Input Device) เครื่องส่ง ช่องทางสื่อสาร (Communication Channel) หรือเซนแนล ซึ่งมักมีสัญญาณรบกวน (Noise) มารบกวนเครื่องรับและอุปกรณ์เอาต์พุต (Output Device)



รูปที่ 2.14 ระบบสื่อสารพื้นฐาน

2.9.1 อุปกรณ์อินพุต และเอาต์พุต

อุปกรณ์อินพุต ก็คือ อุปกรณ์ที่ทำการแปลงข้อมูลข่าวสารให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า ส่วนอุปกรณ์เอาต์พุตก็คือ อุปกรณ์ที่ทำการแปลงสัญญาณไฟฟ้าให้กลับมาเป็นข้อมูลข่าวสารนั่นเอง มีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไปแล้วแต่การใช้งาน เช่น ในระบบวิทยุกระจายเสียง อุปกรณ์อินพุตอาจเป็นไมโครโฟนและอุปกรณ์เอาต์พุตเป็นลำโพงสำหรับไมโครโฟนทำหน้าที่แปลงคลื่นเสียงเป็น

สัญญาณไฟฟ้า และส่วนลำโพงทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้ากลับเป็นคลื่นเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทำงานเดียวกันในระบบแพร่ภาพทางโทรทัศน์อุปกรณ์อินพุท ก็คือ กล้องถ่ายโทรทัศน์ ซึ่งเปลี่ยนพลังงานแสง (จากภาพ) ไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าและอุปกรณ์เอาต์พุท ก็คือหลอดภาพโทรทัศน์ซึ่งเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้ากลับคืนเป็นพลังงานแสง

อุปกรณ์อินพุท และเอาต์พุทของระบบสื่อสารยังมีอีกมากมาย เช่น คันเคาะโทรเลข เครื่องโทรพิมพ์ เครื่องโทรสาร เครื่องโทรมาตร (Telemetry) ฯลฯ อุปกรณ์อินพุทและเอาต์พุทจะต่อเข้ากับเครื่องส่งและเครื่องรับเสมอ

ข่าวสารที่รับหรือส่งระหว่างกัน แบ่งออกเป็น 3 พวกใหญ่ คือ

1. เสียงหรือออดิโอ (Audio) ได้แก่ เสียงพูดในระบบโทรศัพท์ เสียงเพลง หรือซึ่งต้องการคุณภาพเสียงดีในระบบวิทยุกระจายเสียง
2. ภาพ (Picture) ได้แก่ ภาพนิ่งในระบบโทรสาร และ การระบบส่งภาพระยะไกลในระบบโทรทัศน์
3. ข้อมูล (Data) ส่วนใหญ่ส่งมาเป็นรหัสให้แก่เครื่องยนต์, เครื่องคอมพิวเตอร์ ฯลฯ ได้แก่ ข้อมูล และคำสั่งในระบบโทรมาตรตัวอักษรในระบบโทรพิมพ์ หรือโทรเลขข้อมูลคอมพิวเตอร์ ในระบบสื่อสารคอมพิวเตอร์

2.9.2 เครื่องส่ง

เครื่องส่งจะทำหน้าที่รับสัญญาณไฟฟ้าจากอุปกรณ์อินพุท แล้วทำการมอดูเลตลงบนคลื่นพาหะความถี่สูง เครื่องส่งประกอบด้วยแหล่งกำเนิดสัญญาณความถี่สูง(เรียกว่า ออสซิลเลเตอร์) กับมอดูเลต เครื่องส่งส่วนใหญ่ยังมีภาคขยายอีกเพื่อให้สัญญาณที่ส่งออกอากาศมีกำลังแรง ทำให้สื่อสารกัน ได้ไกลขึ้น

2.9.3 ช่องทางสื่อสาร

ช่องทางสื่อสาร ในที่นี้ ได้แก่ บรรยากาศ อวกาศว่าง (Free Space) หรือสาย ฯลฯ แต่ในที่นี้เราจะกล่าวถึงเฉพาะระบบวิทยุเท่านั้น ช่องทางสื่อสารของระบบวิทยุ อาศัยการแผ่คลื่นวิทยุออกไปโดยผ่านบรรยากาศซึ่งเป็นตัวกลางซึ่งคลื่นเดินทางจากเครื่องส่งผ่านไปยังเครื่องรับ

2.9.4 ความถี่และความยาวคลื่น

เรานิยมแบ่งคลื่นความถี่วิทยุออกเป็นย่านความถี่ต่างๆ โดยมีหน่วยเป็นเฮิรตซ์ (Hz) ในประวัติศาสตร์วิทยุเรา แบ่งคลื่นวิทยุตามความยาวคลื่น ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และความยาวคลื่นเป็นไปตามสูตรดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\lambda = c/f$$

ในที่นี้ λ คือ ความยาวคลื่นมีหน่วยเป็นเมตร

C คือ ความเร็วของคลื่นวิทยุในอากาศ เท่ากับ ความเร็วของแสง = 3×10^8 เมตรต่อวินาที

f คือ ความถี่มีหน่วยเป็นเฮิร์ตซ์ (Hz)

ตารางที่ 2.3 ย่านความถี่และความยาวคลื่น

ย่านความถี่	ความถี่	ความยาวคลื่น
Very Low Frequency (VLF)	ต่ำกว่า 30 kHz	ยาวกว่า 10 km
Low Frequency(LF)	30-300 kHz	10-1 km
Medium Frequency(MF)	300-3000 kHz	1000-100 m
High Frequency (HF)	3-30 MHz	100-10 m
Very High Frequency (VHF)	30-300 MHz	10-1 m
Ultra High Frequency (UHF)	300-3000 MHz	100-10 cm
Super High Frequency (SHF)	3-30 GHz	10-1 cm
Extremely High Frequency (EHF)	30-300 GHz	10-1 mm

2.9.5 สัญญาณรบกวน (Noise)

เป็นสัญญาณที่เข้ามาแทรกแซงหรือทำการรบกวน (Interference) สัญญาณรบกวนที่รับเข้ามาจะสามารถแบ่งออกได้ 4 ประเภท คือ

1. สัญญาณรบกวนบรรยากาศ (Atmospheric Noise) คือ เกิดขึ้นจากความแปรปรวนของบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลก เช่น เกิดฟ้าแลบ, ฟ้าผ่า ก่อให้เกิดคลื่นวิทยุแผ่กระจายออกไปรอบโลก สัญญาณรบกวนบรรยากาศเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา แม้จะไม่มีพายุฝนฟ้าคะนองก็ตาม

2. สัญญาณรบกวนจากอวกาศ (Space Noise) คือ เกิดจากดวงอาทิตย์และดวงดาวนับล้านๆ ดวงในจักรวาล ดวงอาทิตย์เป็นวัตถุที่มีขนาดมหึมาและมีความร้อนสูงถึง 6,000 องศาเซลเซียส ที่ผิวดวงอาทิตย์ และจะแผ่พลังงานออกมา มีสเปกตรัมความถี่กว้างมาก พลังงานนี้จะปรากฏออกเป็นสัญญาณรบกวนคงที่ อย่างไรก็ตามที่ผิวของดวงอาทิตย์จะยังมีความแปรปรวนอื่นอีก เช่น จุดบนดวงอาทิตย์, การลุกโชติช่วง ซึ่งก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนเพิ่มขึ้นอีก นอกจากนี้ดวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาทิตย์บางดวงที่ไกลออกไป จากระบบสุริยะจักรวาล ก็มีคุณสมบัติเหมือนดวงอาทิตย์ คือ มีความร้อนสูงและสามารถกำเนิดสัญญาณรบกวนมายังโลกได้

3. สัญญาณรบกวนที่เกิดจากสิ่งที่มีมนุษย์สร้างขึ้น (Man-Made Noise) ได้แก่ สัญญาณรบกวนจากมอเตอร์ไฟฟ้า เช่น พัดลม ที่เป่าลม เครื่องดูดฝุ่น นอกจากนี้ก็ยังมีสัญญาณรบกวนจากระบบจุดระเบิดของรถยนต์ การรั่วของสายไฟแรงสูง หลอดไฟลูออเรสเซนต์ ฯลฯ

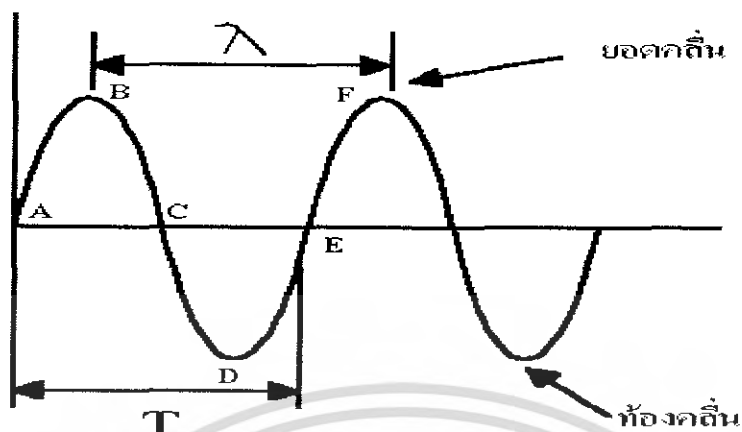
4. สัญญาณรบกวนภายในอุปกรณ์ในเครื่องรับ (Internal Noise) แยกเป็น 2 ประเภท คือ สัญญาณรบกวนอุณหภูมิ (Thermal Noise) และสัญญาณรบกวนสั้น (Shot Noise) สัญญาณรบกวนอุณหภูมิเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในตัวอุปกรณ์ บางครั้ง เรียกว่า จอห์นสันสัญญาณรบกวน (Johnson Noise) ส่วนสัญญาณรบกวนสั้น เกิดขึ้นในอุปกรณ์แอคทีฟ (Active Device) ทุกชนิด เนื่องจากการรวมตัวของอิเล็กตรอนกับโฮล (Hole) เช่น ในทรานซิสเตอร์ ซึ่งไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ

2.9.6 เครื่องรับ

เมื่อรับสัญญาณจากเครื่องรับ สัญญาณจะมีกำลังอ่อนลง และยังมีสัญญาณรบกวนเข้ามาแทรกแซงสัญญาณที่ต้องการจะรับอีกด้วย ดังนั้นการรับสัญญาณอ่อนๆ เช่นนี้ เครื่องรับจึงต้องมีความสามารถพิเศษในการเลือกรับ และขยายเอาเฉพาะสัญญาณความถี่ที่ต้องการ พร้อมทั้งต้องมีกรรมวิธีในการกำจัดสัญญาณรบกวน หรือต่อสู้เอาชนะสัญญาณรบกวนที่รบกวน สัญญาณที่รับได้ จะผ่านการตีมอดเพื่อแปลงสัญญาณข่าวสารที่ เข้ามาออกสู่กลับมารวมวิธีนี้ก่อนข้างสลับซับซ้อนพอสมควร

2.10 ลักษณะการเกิดคลื่น

สมมุติว่าเราโยนก้อนหินลงไปในน้ำ ทันทีที่ก้อนหินกระทบผิวน้ำจะเกิดลูกคลื่นของน้ำกระจายไปโดยรอบ เป็นวงกลม สังเกตเห็นว่ารูปคลื่นกระจายกว้างออกไปเรื่อยๆ แต่ผิวน้ำนั้นเพียงกระเพื่อมขึ้นลงเท่านั้น ดังนั้นกล่าวได้ว่า ในการเดินทางของคลื่นเป็นการเดินทางของพลังงานชนิดหนึ่ง ซึ่งถ้าสังเกตผิวน้ำที่กระเพื่อมขึ้นลงจะเห็นว่ามิลักษณะเป็นลอนคล้ายลอนของถังกะสีหลังคาบ้าน หากดูทางภาคตัดขวางจะมีลักษณะเป็นคลื่นไซน์ (Sine Wave) ดังรูปที่ 2.15



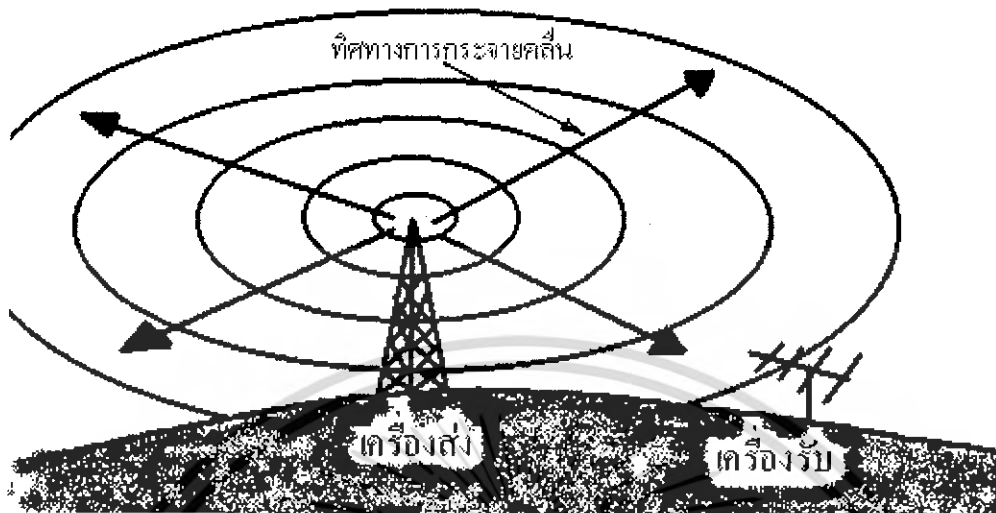
รูปที่ 2.15 ภาคตัดขวางของลูกคลื่น

จุดสูงสุดของคลื่น เรียกว่า ยอดคลื่นและจุดต่ำสุดของคลื่น เรียกว่า ท้องคลื่นลูกคลื่นแต่ละลูกคลื่นจะแสดงการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพครบหนึ่งรอบพอดี จากรูปที่ 2.15 การเปลี่ยนแปลงจาก A ถึง E คือ A B C D E จะแทนคลื่น 1 ลูก หลังจากนั้นจะเริ่มรอบใหม่หรือคลื่นลูกใหม่ต่อไป

ถ้าเราปักไม้ไว้ในน้ำแล้วคอยสังเกตดูลูกคลื่นที่เคลื่อนผ่าน ไม้ นั้น จำนวนลูกคลื่นที่ผ่านจุดใดจุดหนึ่งกำหนดต่อวินาที เราเรียกว่า ความถี่ (Frequency) หมายถึง จำนวนรอบของการเปลี่ยนแปลงต่อวินาที (Cycle Per Second) ในปัจจุบัน เรียกว่า เฮิรตซ์ (Hz)

ระยะห่างระหว่างยอดคลื่นของคลื่นแต่ละลูก ค่าที่ได้นั้น เราจะเรียกว่า ความยาวคลื่น (Wavelength) ใช้สัญลักษณ์ λ มีหน่วยเป็นเมตร ระยะเวลาที่คลื่นใช้ไปในการเดินทางเป็นระยะทาง 1 ความยาวคลื่น เรียกว่า คาบ (Period) ใช้แทนด้วยตัวอักษร T มีหน่วยเป็นวินาที

คลื่นวิทยุก็มีความคล้ายคลึงกับคลื่นในน้ำ คลื่นนั้นจะเกิดได้จะต้องมีแหล่งกำเนิด ในกรณีของคลื่นในน้ำจะเกิดจากการ โยนก้อนหินกระทบผิวน้ำ แต่ถ้าเป็นคลื่นวิทยุนี้เกิดจากการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้าในอากาศ ซึ่งจะเกิดคลื่นวิทยุกระจายออกไปรอบๆ สายอากาศดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 คลื่นวิทยุกระจายออกจากสายอากาศ

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าต่างๆ ของคลื่นวิทยุ คือ

$$C = \lambda f \quad \text{หรือ} \quad \lambda = C/f \quad \text{และ} \quad f = 1/T$$

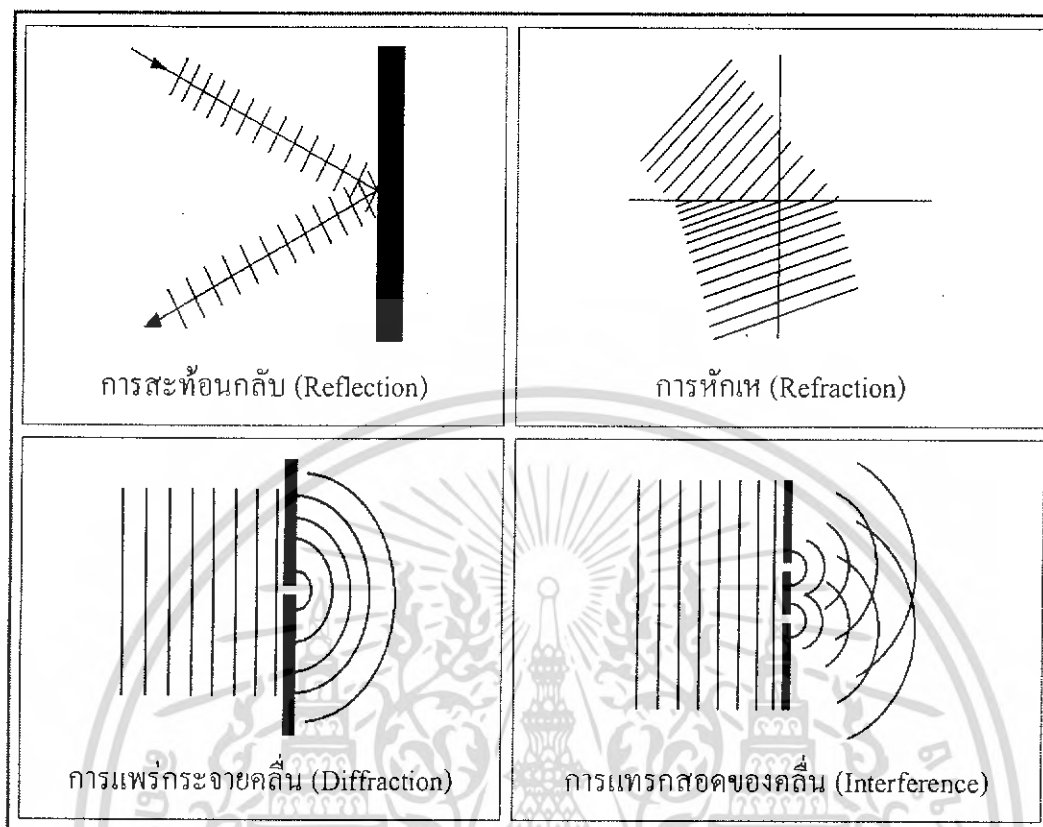
โดย C = ความเร็วแสง 3×10^8 เมตรต่อวินาที
 f = ความถี่
 λ = ความยาวคลื่น
 T = คาบ

2.11 คุณสมบัติของคลื่น

คุณสมบัติพื้นฐานของคลื่นต่างๆ สามารถพิจารณา ได้ 4 ประการ คือ

1. การสะท้อนกลับ (Reflection)
2. การหักเห (Refraction)
3. การแพร่กระจายคลื่น (Diffraction)
4. การแทรกสอดของคลื่น (Interference)

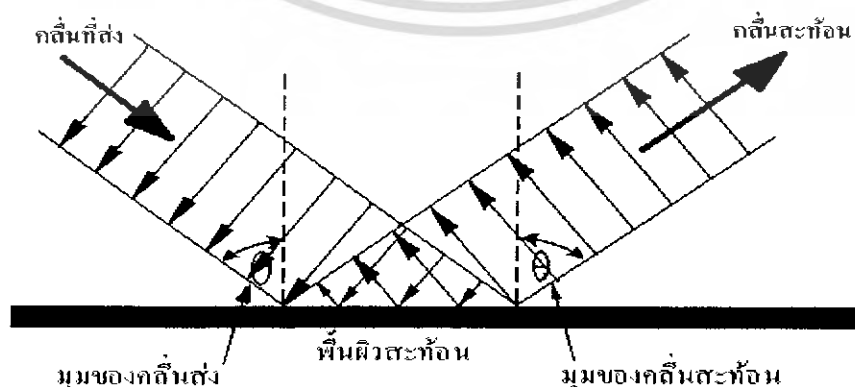
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 คุณสมบัติพื้นฐานของคลื่น (4 ลักษณะ)

2.11.1 การสะท้อนของคลื่น

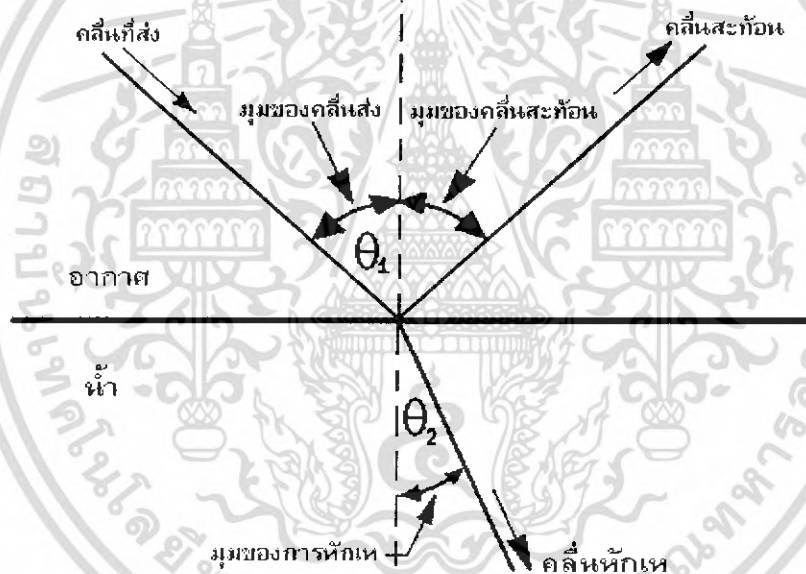
การสะท้อนของคลื่น จะหมายถึง การเปลี่ยนทิศทางการเดินทางของคลื่นโดยทันทีทันใดเมื่อคลื่นนั้นเดินทางตกกระทบที่ผิวของตัวกลาง นั่นคือคลื่นกระดอนออกจากผิวสะท้อนของตัวกลางในลักษณะเดียวกับแสงสะท้อนจากกระจกเงากรูปที่ 2.18 แสดงปรากฏการณ์ของการสะท้อนของคลื่นวิทยุ สังเกตได้ว่ามุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.18 การสะท้อนของคลื่นวิทยุอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.2 การหักเหของคลื่น

การหักเหของคลื่นวิทยุเกิดขึ้นเมื่อ คลื่นวิทยุเดินทางจากตัวกลางหนึ่ง ไปยังอีกตัวกลางหนึ่งที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าไม่เหมือนกัน โดยที่มุมตกกระทบ ณ ตัวกลางที่สองไม่เป็นมุมฉาก พลังงานคลื่นส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับเข้าไปยังตัวกลางที่หนึ่ง โดยมีมุมตกเท่ากับมุมสะท้อน แต่ยังมีพลังงานคลื่นอีกส่วนหนึ่งเดินทางเข้าไปยังตัวกลางที่สอง การเดินทางเข้าไปยังตัวกลางที่สองนี้ จะไม่เป็นแนวเส้นตรงต่อไปจากแนวทางเดินในด้านตัวกลางแรก แต่จะหักเหออกไปเล็กน้อยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางไฟฟ้าของตัวกลางทั้งสอง สาเหตุที่เกิดการหักเหของทางเดินของคลื่นวิทยุเนื่องจาก ความเร็วของคลื่นวิทยุในตัวกลาง ที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าแตกต่างกันจะไม่เท่ากัน เช่น คลื่นวิทยุจะเดินทางในน้ำบริสุทธิ์จะช้ากว่าเดินทางในอากาศถึง 9 เท่า เป็นต้น



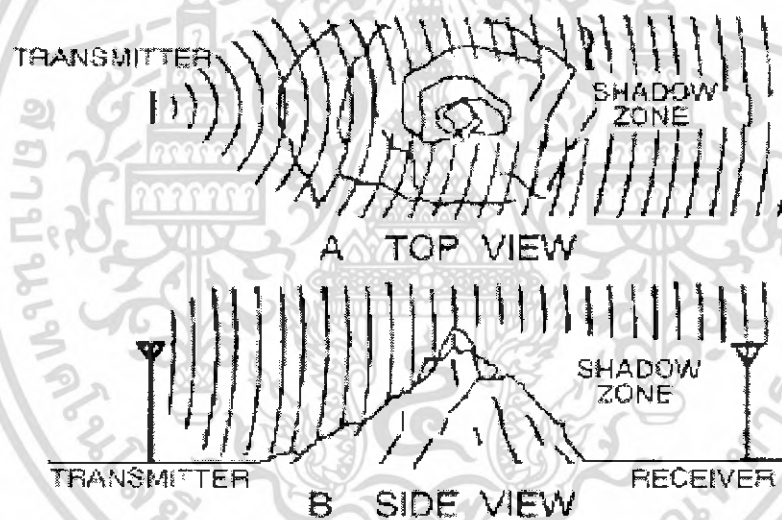
รูปที่ 2.19 การหักเหของคลื่นวิทยุ

จากรูปที่ 2.19 จะเห็นได้ว่าเมื่อหน้าคลื่น (Wave Front) ตกกระทบพื้นผิวระหว่าง ตัวกลางทั้งสองนั้น ส่วนของคลื่นที่สัมผัสผิวน้ำ ก็จะเริ่มเดินทางเข้าไปในน้ำ ด้วยความเร็วช้าลง ในขณะที่หน้าคลื่นอีกส่วนหนึ่งยังคงอยู่ในอากาศจะเดินทางเร็วกว่า ตัวอย่างคลื่นที่ใช้ติดต่อสื่อสารที่อาศัยการหักเหของคลื่น คือ การสื่อสารในย่านความถี่สูง (HF) ซึ่งอาศัยเพดานไฟฟ้า Ionosphere เมื่อคลื่นวิทยุเดินทางจากพื้นโลกผ่านเข้าไปยังเพดานไฟฟ้า ถ้าคลื่นจะค่อยๆ หักเหไปเรื่อยๆ จนในที่สุดคลื่นก็จะกลับออกมาจากเพดานไฟฟ้าและกลับมาถึงพื้นโลกอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.3 การแพร่กระจายคลื่น

การแพร่กระจายคลื่น มีชื่อเรียกได้ต่างๆ กันไป เช่น การเลี้ยวเบนของคลื่น หรือการเบี่ยงเบนของคลื่น การเบี่ยงเบนของคลื่นเกิดขึ้นเมื่อคลื่นเดินทางผ่านมุม หรือขอบของตัวกลางที่คลื่นนั้นไม่สามารถผ่านไปได้อีก เช่น คลื่นวิทยุความถี่สูงมากเดินทางผ่านยอดเขา คลื่นนี้มีคุณสมบัติเดินทางเป็น เส้นตรง ดังนั้น ถ้าเราลากเส้นตรงจากสายอากาศไปยังยอดเขา ส่วนที่อยู่หลังยอดเขา และต่ำกว่าเส้นนี้ลงมาไม่ควรที่จะได้รับคลื่นได้เลย แต่บางส่วนของคลื่นที่อยู่หลังยอดเขา สามารถรับคลื่นวิทยุผ่านความถี่สูงได้ เนื่องจาก ความถี่สูงขึ้นการเบี่ยงเบนของคลื่นก็ยิ่งลดลง กล่าวคือ คลื่นจะเดินทางเป็นแนวเส้นตรง แต่ บางส่วนของคลื่นเกิดการกระทบกับสลิทแคบๆ (ยอดเขา) ทำให้คลื่นเกิดการแตกกระจายออกไปโดยรอบ เสมือนกับเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นใหม่นั้นเอง ดังรูปที่ 2.20 แสดงคลื่นผ่านช่องสลิทที่แคบ โดยมีหลักการ ดังที่ ได้ กล่าวไป ข้างต้น

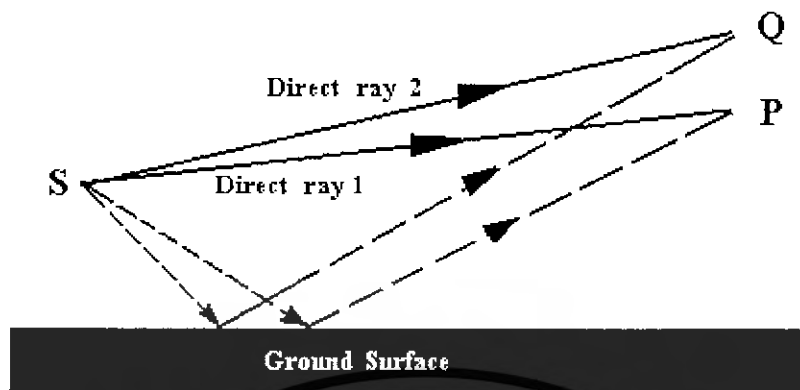


รูปที่ 2.20 การเบี่ยงเบนของคลื่นวิทยุ

2.11.4 การแทรกสอดของคลื่น

การแทรกสอดของคลื่นเรื่องนี้ เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติทาง Optical ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เราพิจารณาเรื่อง Interference ต่อไป สิ่งนี้เกิดขึ้นเมื่อ 2 คลื่นที่ออกจากแหล่งจ่ายอันเดียว และเดินทางมาด้วยเส้นทางที่แตกต่างกันจนมาถึงจุดจุดหนึ่งพร้อมกัน ซึ่งสิ่งนี้จะเกิดขึ้นบ่อยมากในการเดินทางของ High-Frequency Sky-Wave Propagation และใน Microwave Space-Wave Propagation (หัวข้อนี้จะอธิบายกรณีของคลื่นไมโครเวฟ) มันเกิดขึ้นเมื่อสายอากาศของไมโครเวฟ ถูกตั้งอยู่ใกล้กับพื้นผิวดิน และคลื่นที่มาถึง จุดรับ ไม่ใช่เพียงจากทิศทางตรงแต่เป็นคลื่นที่หลังจากสะท้อนจากพื้นผิวดินด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.21

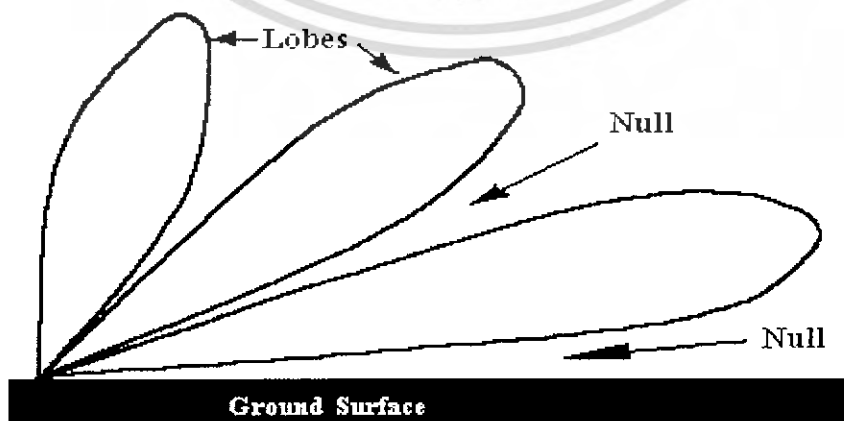
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 การ Interference ของ Direct Rays และ Ground - Reflected Rays

จากรูปที่ 2.21 จะเห็นได้ว่า เส้นทางของคลื่นตรง (Direct Ray) สั้นกว่าเส้นทางจากการสะท้อน(Reflected ray) สำหรับบางครั้งการรวมกันของความถี่ และความสูงของสายอากาศเหนือพื้นโลกความแตกต่างระหว่างเส้นทาง Direct Ray 1 กับ Reflected Ray 1 เท่ากับ ประมาณครึ่งความยาวคลื่น สิ่งนี้ จะเป็นการหักล้างอย่างสมบูรณ์ ณ จุดรับ P ถ้า พื้นโลกเป็นตัวสะท้อนที่สมบูรณ์ และหักล้างกันบางส่วนสำหรับพื้นโลกที่ไม่สมบูรณ์ ส่วนจุดรับอื่นๆ ด้วยเหตุของเส้นทางที่แตกต่างระหว่าง Direct Ray 2 กับ

Reflected Ray 2 มีค่าเท่ากับหนึ่งความยาวคลื่นพอดี ในกรณีนี้การเสริมกันของคลื่นที่รับได้จะเกิดขึ้น ณ จุดนี้ และจะเป็นเฉพาะบางส่วนหรือทั้งหมด ขึ้นอยู่กับความสามารถการสะท้อนของพื้นโลก การเกิดอย่างต่อเนื่องของจุดนี้มากกว่าหนึ่งอัน ที่จุดอื่นๆ อาจพบได้อีก จะได้เป็น Interference Pattern ขึ้น ซึ่งประกอบด้วยจุดหักล้างกัน (Concellation) และจุดเสริมกัน (Reinforcement) สลับกัน Pattern ของรูปแบบดังกล่าวนี้ แสดงดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 Radiation Pattern with Interference

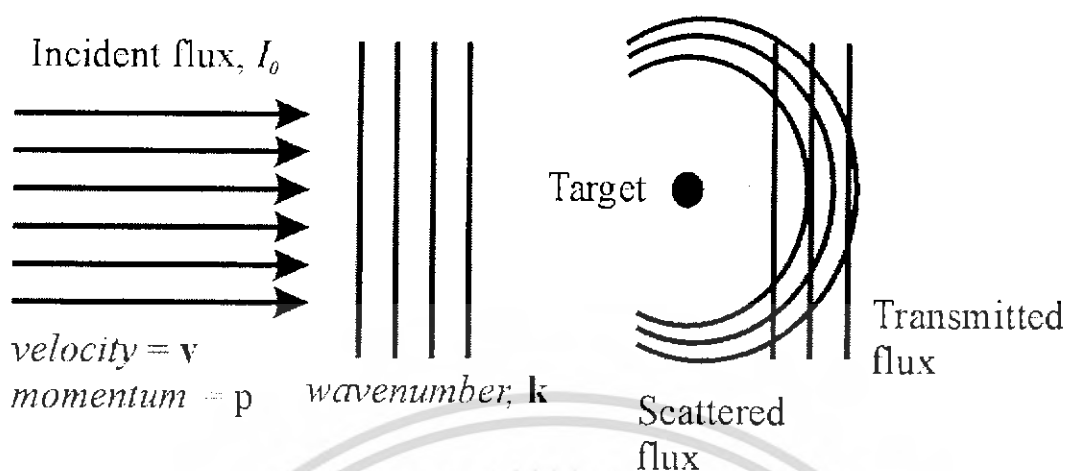
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในวงการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟจากรูปที่ 2.22 คือ จุดต่อกันของ Electric Intensity ที่เท่าๆ กัน Pattern นี้เกิดขึ้นโดยสายอากาศ ณ จุดความสูงจากพื้นโลกประมาณ 1 ความยาวคลื่นด้วยการสะท้อนจากพื้นโลก (ถือว่าเป็นแผ่นระนาบและตัวนำที่สมบูรณ์) ทำให้เกิดการสอดแทรก Pattern ดังแสดง อาจคำนวณหรือพล็อตได้จากการวัด Field-Strength อย่างถูกต้อง "Flower Petals" (กลีบดอกไม้) ของ Pattern นี้เรียกว่า Lobe ซึ่งตรงจุดที่เสริมกัน ดังเช่นจุด q ของรูปที่ผ่านมา ขณะที่ Nulls ระหว่าง Lobe ตรงกับจุดที่หักล้างกันเช่นจุด P ของรูปที่ 2.22

2.12 คุณสมบัติอื่นๆ ที่เกิดขึ้นกับคลื่น

การดูดกลืน (ABSORPTION) เมื่อคลื่นวิทยุเดินทางผ่านตัวกลาง พลังงานส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปในลักษณะที่กลายเป็นความร้อน เรียกว่า คลื่นวิทยุถูกดูดกลืนโดยตัวกลาง ตัวกลางนั้นไม่ว่าจะเป็นตัวนำ หรือมีสภาพเป็นตัวต้านทานต่อคลื่นวิทยุ อาคารตึกและสิ่งก่อสร้างต่างๆ บนพื้นโลก อุณหภูมิของอากาศ น้ำ และฝุ่นละออง ซึ่งประกอบกันเป็นชั้นบรรยากาศ สามารถเป็นตัวดูดกลืนพลังงานได้ทั้งสิ้น

การกระจัดกระจาย (Scattering) เมื่อคลื่นวิทยุเดินทางตกกระทบบนตัวกลาง ที่รวมกันเป็นกลุ่มพลังงานส่วนหนึ่งจะสะท้อนออกมา และบางส่วนจะเดินทางหักเหเข้าไปในตัวกลาง ส่วนหนึ่งของพลังงานที่เข้าไปในตัวกลางจะถูกดูดกลืนแล้วเปลี่ยนรูปเป็นความร้อน และมีอีกส่วนหนึ่งถูกตัวกลางคายออกมาอีกในรูปของการกระจายพลังงานคลื่น เนื่องจากคลื่นที่กระจายออกมานี้ไม่ค่อยเป็นระเบียบเราจึงเรียกว่า คลื่นกระจัดกระจาย การกระจัดกระจายของคลื่นนี้ บางครั้งก็นำมาใช้ประโยชน์ได้เช่น ในระบบการสื่อสารที่ เรียกว่า Tropospheric Scatter ซึ่งอาศัยการกระจัดกระจายของคลื่นวิทยุ จากกลุ่มอากาศที่หนาแน่นในชั้นบรรยากาศ Troposphere ซึ่งอยู่ห่างจากผิวโลกประมาณ 10 กิโลเมตร ในบางครั้งการกระจัดกระจายของคลื่นก็มีผลเสีย เช่น การสื่อสารย่านความถี่ไมโครเวฟ เมื่อคลื่นตกกระทบเมฆฝนจะทำให้คลื่นเกิดการสูญเสียเป็นผลจากการกระจัดกระจายและการหักเหทำให้คลื่นไม่สามารถเดินทางไปยังปลายทางได้หมด



รูปที่ 2.23 การกระจัดกระจายของคลื่น

การลดทอนพลังงาน (Attenuation) ของคลื่นจะมีความหมาย หรือสาเหตุคล้ายคลึง กับการถูกดูดกลืน คือ การลดทอนพลังงานคลื่น เนื่องมาจากการถ่างออกของลำคลื่นวิทยุ ในลักษณะที่คล้ายคลึงกับการถ่างออกของลำแสงของไฟฉาย ปรัชญาการณืเช่นนี้จะทำให้ความเข้มของพลังงานของคลื่นวิทยุ ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ลดลงไปเรื่อยๆ จนเมื่อคลื่นเดินทางห่างจากจุดกำเนิดออกไปถึงแหล่งกำเนิดคลื่น มีลักษณะที่สามารถกระจายคลื่นได้ทุกทิศทางรอบตัวหรือ เรียกว่า Isotropic Antenna นั้น คลื่นที่ถูกสร้างขึ้น จะลดความเข้มลงไปเรื่อยๆ เมื่อคลื่นเดินทางห่างออกไป โดยความเข้มจะแปรกลับ กับระยะทางกำลังสองนั่นเอง

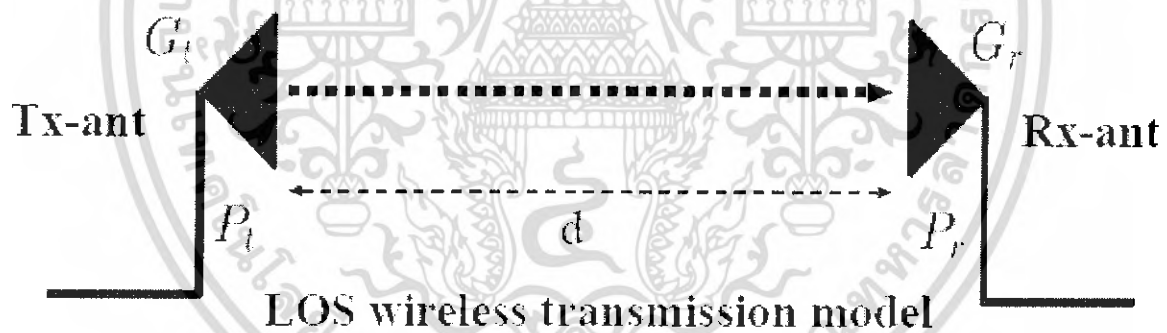
บทที่ 3

ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ของ Two Path Model

3.1 การวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณ UWB ใน Free Space

3.1.1 พารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับช่องสัญญาณแบบ Ultra-Wideband

ในบทความนี้ได้ทำการศึกษาถึง การแพร่กระจายของสัญญาณในระบบการสื่อสารแบบ Ultra-Wideband ในระบบเนโรแบนด์ (Narrowband) โดยปรกตินั้นจะถูกกำหนดโดยใช้ Friis's transmission formula แต่มันไม่สามารถนำมาใช้ได้โดยตรง กับการส่งสัญญาณในระบบ Ultra-Wideband โดยในสูตรนั้นจะมีข้อจำกัดในเรื่องของความถี่แต่อย่างไรก็ตาม รูปร่างของสัญญาณอาจจะผิดเพี้ยนไปเนื่องจากคุณสมบัติในการตอบสนองความถี่ของสายอากาศ โดยได้มีการปรับปรุงสมการของฟรีด (Friis) เพื่อใช้วิเคราะห์ความผิดเพี้ยนของสัญญาณ โดยสมการของฟรีด (Friis) สามารถอธิบายได้ดังนี้คือ



รูปที่ 3.1 ลักษณะการสื่อสารผ่านช่องสัญญาณ

$$G_{Friis}(f) = \frac{P_r(f)}{P_t(f)} = G_f(f) \cdot G_r(f) \cdot G_t(f) \quad (3.1)$$

โดย $P_t(f)$ และ $P_r(f)$ คือกำลังของสัญญาณด้านส่งและสัญญาณด้านรับในรูปของกำลังงาน และ $G_t(f)$ และ $G_r(f)$ เป็นอัตราขยายของสัญญาณด้านส่งและสัญญาณด้านรับในรูปเดซิเบล

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ $G_f(f)$ คือ อัตราขยายของช่องสัญญาณในอวกาศว่าง (Free Space) หรือทิศทางที่มองเห็น (Line of sight : LOS) หรือเขียนอยู่ในรูปของทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันดังสมการ

$$H_{e-friis}(f, d) = H_f(f, d)H_r(f)H_t(f) \quad (3.3)$$

โดย H_f คือ ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของอวกาศว่าง และ H_t และ H_r คือ ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของสายอากาศด้านส่ง และด้านรับและสำหรับกรณี ไอโซโทรปิก (Isotropic)

$$H_{e-friis',lso}(f) = H_f \cdot H_i \quad (3.4)$$

และสามารถคำนวณหาทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของอวกาศว่างได้จากสมการที่ (3.5)

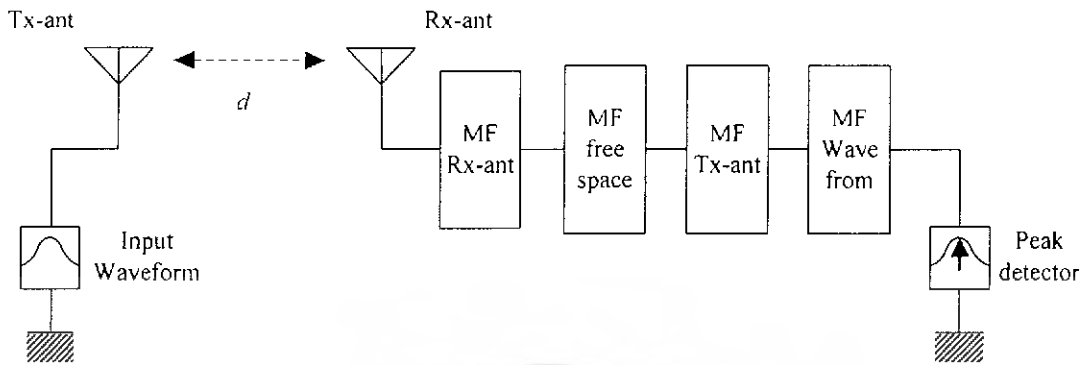
$$H_f(f, d) = \frac{c}{4\pi df} \exp(-jkd) \quad (3.5)$$

โดย $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

แต่สมการ Friis's transmission formula ตามสมการที่ (3.3) เมื่อนำมาใช้ร่วมกับระบบสื่อสารที่เป็นแบบไวด์แบนด์ เช่น Ultra-Wideband จะพบว่ามีความจำกัดในเรื่องของความถี่ที่มีช่วงกว้าง ดังนั้นจึงมีการปรับปรุงสมการของ Friis's transmission formula เป็นตามสมการที่ (3.6) ซึ่งเรียกว่า Extension Friis's transmission formula โดยมีการแก้ไขเขียนอยู่ในรูปของทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน โดยการเพิ่มทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของ Generator pulse filter, H_i

$$H_{e-friis}(f, d) = H_f(f, d)H_i(f)H_r(f)H_t(f) \quad (3.6)$$

ผลตอบแทนทางอิมพัลส์ของอวกาศว่างนั้นคำนวณได้จาก Inverse Fourier Transform ซึ่ง H_f นั้นเป็นฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณในอวกาศ $H_r(f)$ และ $H_t(f)$ เป็นฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณของสายอากาศตัวรับ และสายอากาศตัวส่งตามลำดับ โดยที่สายอากาศด้านรับนั้นได้ใช้ Matched filter ในการกรองความถี่ $H_{Friis}(f)$ และถูกนำมาหาค่าสูงสุดของสัญญาณเอาที่พู่ทางด้านรับดังแสดงในรูปที่ (3.2)



รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมของระบบการส่งสัญญาณที่ได้มีการเพิ่มเติมจากสูตรของฟรีด (Friis's transmission) เพื่อนำมาใช้กับระบบ Ultra-Wideband

$$H_{MF}(f) = \frac{\sqrt{2fb}H^*_{e-Friis}(f)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H^*_{e-Friis}(f)|^2 df}} \tag{3.7}$$

และสำหรับสมการไอโซโทรปิก (Isotropic)

$$H_{MF,Iso}(f) = \frac{\sqrt{2fb}H^*_{e-Friis,Iso}(f)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H^*_{e-Friis,Iso}(f)|^2 df}} \tag{3.8}$$

ซึ่งจากสมการที่ได้ ค่ากำลังของสัญญาณรบกวนที่ได้จะมีค่าคงที่ ดังสมการดังนี้

$$\int_{-\infty}^{\infty} |H_{MF}(f)|^2 df = 2fb \tag{3.9}$$

โดยในกรณีนี้สัญญาณของเอาท์พุท E_r และสเปกตรัมทางด้านรับจะได้เป็น $h_{e-Friis}(t)$ และ $H_{e-Friis}(f)$ ตามลำดับ รูปร่างของสัญญาณเอาท์พุทที่ได้มาจาก Matched filter $V_{MF}(t)$ จะเป็นดังนี้

$$\begin{aligned} v_{MF}(t) &= h_{e-Friis}(t) * h_{MF}(t) \\ &= \frac{\sqrt{2fb}h_{e-Friis}(t) * h_{e-Friis}(-t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} h_{e-Friis}^2(t) dt}} \end{aligned} \tag{3.10}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสำหรับกรณี ไอโซโทรปิก (Isotropic)

$$\begin{aligned} v_{MF, Iso}(t) &= h_{e-Friis}(t) * h_{MF, Iso}(t) \\ &= \frac{\sqrt{2fb} h_{e-Friis, Iso}(t) * h_{e-Friis, Iso}(-t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} h_{e-Friis, Iso}^2(t) dt}} \end{aligned} \quad (3.11)$$

สำหรับสเปกตรัมของเอาต์พุตที่มาจาก Matched filter $V_{MF}(f)$

$$\begin{aligned} V_{MF}(f) &= H_{e-Friis}(f) H_{MF}(f) \\ &= \frac{\sqrt{2fb} H_{e-Friis}(f)^2}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H_{e-Friis}^*(f)|^2 df}} \end{aligned} \quad (3.12)$$

ค่าสูงสุดของสัญญาณจะได้เป็น

$$\begin{aligned} \max_t v_{MF}(t) &= \int_{-\infty}^{\infty} V_{MF}(f) df \\ &= \sqrt{2fb} \int_{-\infty}^{\infty} |H_{e-Friis}^*(f)|^2 df \end{aligned} \quad (3.13)$$

จากสมการที่ (3.13) เป็นการปรับปรุงสมการของฟรีส (Friis) โดยการเพิ่มเติมไป 3 ค่า ซึ่งถูกเรียกโดยรวมว่า คุณสมบัติของความถี่เมื่อมีการแพร่กระจาย ในสภาพแวดล้อมภายในอาคาร และสเปกตรัมของสัญญาณที่ใช้ในการส่ง ซึ่งนำมาปรับปรุงอัตราการขยายรวมโดยผลที่ได้จะเป็นดังสมการที่ (3.13) สำหรับกรณี โดยทั่วไปที่มีการใช้สายอากาศแบบไอโซโทรปิก (Isotropic) นั้นจะประกอบด้วย $H_{Iso}(f) = 1$ อัตราการขยายในการส่งในย่าน Ultra-Wideband สามารถอธิบายได้ดังนี้

$$G_{UWB} = \frac{\max_t v_{MF}(t)}{\max_t v_{MF, Iso}(t)} \quad (3.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 การแพร่การประวิงเวลา (Delay spread)

ค่า Mean Excess Delay, RMS delay spread และ Excess Delay Spread เขียนในรูป dB เป็นตัวแปรในช่องสัญญาณมัลติพาร์ท ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก Power Delay Profile (PDF) โดยค่า Mean Excess Delay และ RMS Delay Spread เป็นคุณสมบัติ Time Dispersive ของช่องสัญญาณมัลติพาร์ทในไวด์แบนด์ โดยทั่วไปแสดงถึงคุณภาพของช่องสัญญาณ Mean Excess Delay สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.15)

$$\tau = \frac{\sum_i a_i^2 t_i}{\sum_i a_i^2} \quad (3.15)$$

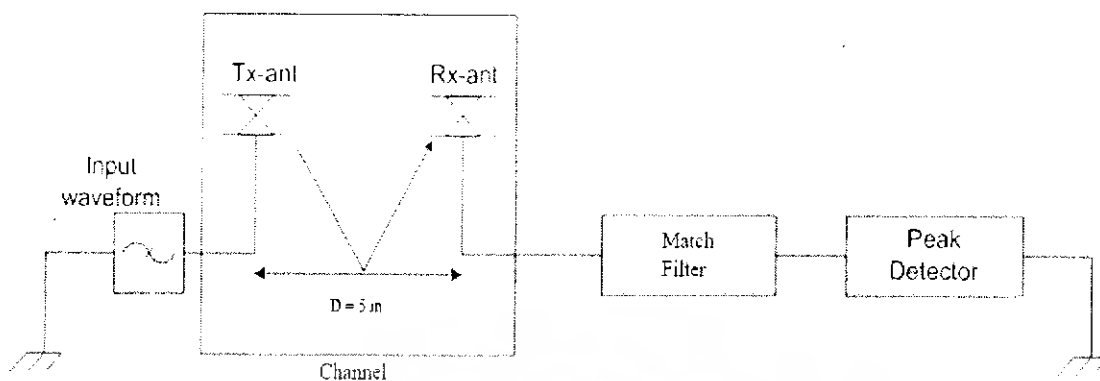
RMS Delay Spread เป็นค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐานช่วงเวลาที่ล่าช้าของสัญญาณที่สะท้อนจากพื้นเป็นสัดส่วนกับพลังงานของสัญญาณที่สะท้อนจากพื้น ดังสมการที่ (3.16)

$$\sigma_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_i a_i^2 t_i^2}{\sum_i a_i^2} - \left(\frac{\sum_i a_i^2 t_i}{\sum_i a_i^2} \right)^2} \quad (3.16)$$

โดย a_i คือ ขนาดของสัญญาณสูงสุดที่สนใจในแต่ละช่วงเวลาของ Power Delay Profile และ t_i คือ ค่าประวิงเวลาหรือ Delay time ของขนาดสัญญาณสูงสุดที่สนใจของ Power Delay Profile

3.2 ทฤษฎีของ Matched filter

ในสัญญาณภาคต้นรับมีการนำเอา Matched filter มาใช้ในปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณต้นรับ หรืออัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR) โดยพิจารณาจากบล็อกไดอะแกรมจะอยู่หลังจากสายอากาศต้นรับ Matched filter ในการกรองความถี่ $H_{Friis}(f)$ สามารถหาคำนวณได้สมการที่ (3.17)



รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมของระบบการส่งสัญญาณ

$$H_{MF}(f) = \frac{H^*_{e-Friis}(f)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H^*_{e-Friis}(f)|^2 df}} \quad (3.17)$$

ซึ่งจากสมการที่ได้ค่ากำลังของสัญญาณรบกวนที่ได้จะมีค่าคงที่ ดังสมการที่ (3.18)

$$\int_{-\infty}^{\infty} |H_{MF}(f)|^2 df = 1 \quad (3.18)$$

โดยในกรณีนี้รูปร่างของสัญญาณเอาท์พุท E_i และสเปกตรัมทางด้านรับจะเป็น $h_{e-Friis}(t)$ และ $H_{e-Friis}(f)$ ตามลำดับ รูปร่างของสัญญาณเอาท์พุทที่ได้มาจาก Matched filter $v_{MF}(t)$ จะเป็นดังนี้

$$v_{MF}(t) = h_{e-Friis}(t) * h_{MF}(t) \quad (3.19)$$

$$= \frac{h_{e-Friis}(t) * h_{e-Friis}(-t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} h_{e-Friis}^2(t) dt}} \quad (3.20)$$

สำหรับสเปกตรัมของเอาท์พุทที่ได้มาจาก Matched filter $V_{MF}(f)$

$$V_{MF}(f) = H_{e-Friis}(f) H_{MF}(f) \quad (3.21)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{H_{e-Friis}(f)^2}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H_{e-Friis}^*(f)|^2 df}} \quad (3.22)$$

ค่าสูงสุดของสัญญาณจะได้เป็น

$$\max v_{MF}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} V_{MF}(f) dt \quad (3.23)$$

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

3.3 Path Gain

ในรายงานฉบับนี้จะใช้ Path gain มาใช้ในการวิเคราะห์หาการลดทอนของสัญญาณด้านรับ โดย Path gain เป็นส่วนกลับของการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss)

และสามารถคำนวณหา Path loss ในแบบจำลองการสะท้อนจากพื้นเป็นอัตราส่วนของขนาดของคลื่นที่สูงสุดของสัญญาณด้านส่งกับขนาดของคลื่นที่สูงสุดของสัญญาณด้านรับ ซึ่งสามารถเขียนได้อยู่ในรูปเดซิเบลดังสมการที่ (3.25)

$$L_p = 20 \log_{10} \left(\frac{\max |v_t(t)|}{\max |v_r(t')|} \right) \quad (3.25)$$

แต่จากสัญญาณด้านส่งจะมีขนาดของคลื่นสูงสุดที่ ณ เวลาเท่ากับ 0 มีค่าเท่ากับ 1

$$\max |v_t(t)| = \max |v_t(0)| = 1 \quad (3.26)$$

ดังนั้นจึงสามารถคำนวณค่า Path loss ดังสมการที่ (3.27)

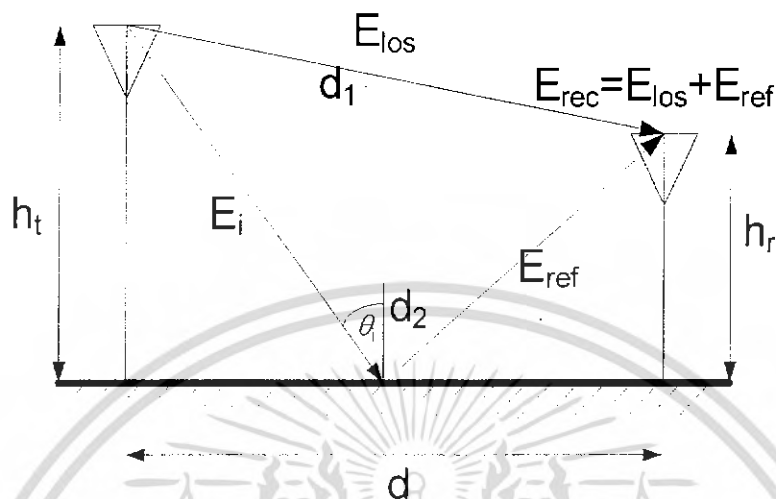
$$L_p = -20 \log_{10} (\max |v_r(t')|) \quad (3.27)$$

และ Path gain เป็นส่วนกลับของ Path loss ดังสมการที่ (3.28)

$$G_p = 20 \log_{10} (\max |v_r(t')|) \quad (3.28)$$

เอกสารนี้เป็นโดย t' คือเวลาที่สัญญาณด้านรับมาถึงสายอากาศด้านรับ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับการสะท้อนของคลื่น (Theoretical of ground reflection model)



รูปที่ 3.4 แบบจำลองการสะท้อนจากพื้นผิว

จากรูปที่ 3.4 แสดงถึงแบบจำลองการสะท้อนจากพื้นผิว (Ground Reflection Model) หรือ ก็คือ Two-Path Model เป็นแบบจำลองที่พิจารณาสัญญาณ 2 สัญญาณ คือ สัญญาณที่มาจากทิศทางในลักษณะตรง (Direct Path) เป็นสัญญาณที่เดินทางจากสายอากาศด้านส่งมาถึงสายอากาศด้านรับ โดยไม่มีสิ่งกีดขวางหรือทิศทางที่มองเห็นได้ โดยสัญญาณที่มาจากการสะท้อน (Reflection Path) เป็นสัญญาณที่เดินทางจากสายอากาศด้านส่งมาถึงสายอากาศทางด้านรับ โดยสัญญาณจะเดินทางกระทบพื้นผิว และสะท้อนกลับมา

โดยสามารถคำนวณหาระยะทางระหว่างสายอากาศด้านส่ง กับสายอากาศด้านรับในทิศทางที่มองเห็นได้ (d_1) และระยะทางระหว่างสายอากาศด้านส่ง กับสายอากาศด้านรับในทิศทางที่สะท้อนจากพื้น (d_2) ดังสมการที่ (3.29) และ (3.30)

$$d_1 = \sqrt{(h_t - h_r)^2 + d^2} \quad (3.29)$$

$$d_2 = \sqrt{(h_t + h_r)^2 + d^2} \quad (3.30)$$

โดย d คือ ระยะทางระหว่างสายอากาศด้านส่งกับสายอากาศด้านรับ และ h_t, h_r คือ ความสูงของสายอากาศด้านส่งกับด้านรับ ตามลำดับ และสามารถคำนวณหาค่ามุมตกกระทบ (θ_i) จากสมการที่ (3.31)

$$\theta_i = \tan^{-1} \left(\frac{h_t + h_r}{d} \right) \quad (3.31)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนสัญญาณด้านรับสามารถคำนวณได้จากสัญญาณที่มาจากอวกาศว่างร่วมกับสัญญาณที่สะท้อนมาจากพื้นผิว ดังสมการที่ (3.32)

$$E_{rec} = E_{los} + E_{ref} \quad (3.32)$$

โดย E_{rec} คือ สัญญาณที่สายอากาศด้านรับตรวจสอบได้ และ E_{los} คือ สัญญาณจากทิศทาง LOS และ E_{ref} คือ สัญญาณที่สะท้อนจากพื้นผิวซึ่ง E_{los} สามารถคำนวณได้จากสมการ Friis's transmission ส่วน E_{ref} สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.33)

$$E_{ref} = \Gamma E_i \quad (3.33)$$

โดย Γ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นผิว (Reflection Coefficient of Ground) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (3.34)

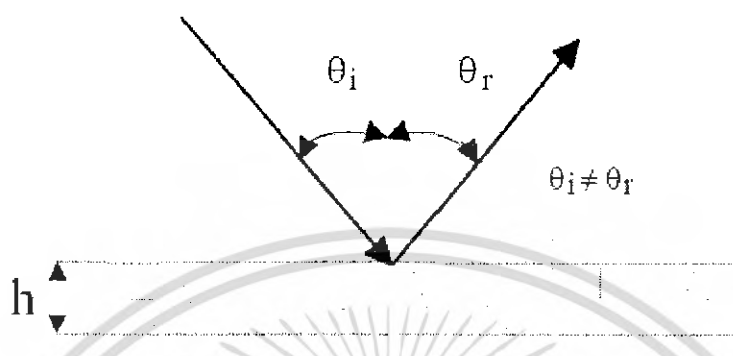
$$\Gamma = \Gamma_v + \Gamma_h \quad (3.34)$$

โดย Γ_v, Γ_h คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นผิวในโพลาไรเซชันแนวตั้ง (Vertical Polarization) และแนวนอน (Horizontal Polarization) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (3.35) และ (3.36)

$$\Gamma_v = \frac{-\epsilon_r \sin \theta + \sqrt{\epsilon_r - \cos^2 \theta}}{\epsilon_r \sin \theta + \sqrt{\epsilon_r - \cos^2 \theta}} \quad (3.35)$$

$$\Gamma_h = \frac{\sin \theta - \sqrt{\epsilon_r - \cos^2 \theta}}{\sin \theta + \sqrt{\epsilon_r - \cos^2 \theta}} \quad (3.36)$$

3.5 องค์ประกอบของการสูญเสียเนื่องจากการกระจัดกระจาย (Scattering Loss Factor)



รูปที่ 3.5 Rough surface

ในรายงานฉบับนี้จะพิจารณาว่าพื้นชนิดไหนซึ่งมีทั้งพื้นเรียบหรือพื้นขรุขระ จะใช้สมการของมาตรฐานของเรย์ลี (Rayleigh Criterion) ในการพิจารณาคังสมการที่ (3.37)

$$h_c = \frac{\lambda}{8 \cos \theta_i} \quad (3.37)$$

โดย h_c คือ มาตรฐานของความสูง (Height of Criterion)

ดังนั้นถ้าในพื้นที่ไหน มีค่า h คือระดับความสูงของพื้นผิวมีค่ามากกว่า h_c จะสามารถกล่าวได้ว่าพื้นผิวนั้นเป็นพื้นผิวที่ขรุขระ แต่ถ้า h มีค่าน้อยกว่า h_c จะสามารถกล่าวได้ว่าพื้นผิวนั้นเป็นพื้นผิวที่เรียบ

เมื่อพื้นผิวเป็นพื้นขรุขระ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนจะต้องเปลี่ยนแปลงไป โดยนำค่าปัจจัยการสูญเสียจากการกระจัดกระจาย (Scattering Loss Factor) มาใช้ในการปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.38)

$$\rho_s = \exp\left(-8\left(\frac{\pi\sigma_h \cos\theta_i}{\lambda}\right)^2\right) \quad (3.38)$$

โดย σ_h คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพื้นผิวความสูง (The Standard Deviation of The Height Surface) หรือค่าเฉลี่ยความสูงของพื้นผิวที่ขรุขระ และในรายงานฉบับนี้สมมุติให้พื้นผิวเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขรุขระมีการสุ่มแบบการแจกแบบเกาส์ (Gaussian Distributed Random) ซึ่งทำให้ค่าปัจจัยการสูญเสียจากการกระจัดกระจายเปลี่ยนไปดังสมการที่ (3.39)

$$\rho_s = \exp\left(-8\left(\frac{\pi\sigma_h \cos\theta_i}{\lambda}\right)^2\right) I_0\left(8\left(\frac{\pi\sigma_h \cos\theta_i}{\lambda}\right)^2\right) \quad (3.39)$$

โดย I_0 คือ Modified Bessel Function of zero-th Order แต่ค่า Bessel Function จะมีค่าน้อยมาก จึงสามารถกล่าวได้ว่าปัจจัยการสูญเสียจากการกระจัดกระจายที่มีการกระจายความสูงแบบเกาส์นั้นมีค่าเท่ากับค่าปัจจัยการสูญเสียจากการกระจัดกระจาย ตามสมการที่ (3.38)

และค่าปัจจัยการสูญเสีย จากการกระจัดกระจายนำมาปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน ดังสมการที่ (3.40) และ (3.41)

$$\Gamma_{v,rough} = \rho_s \cdot \Gamma_v \quad (3.40)$$

$$\Gamma_{h,rough} = \rho_s \cdot \Gamma_h \quad (3.41)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

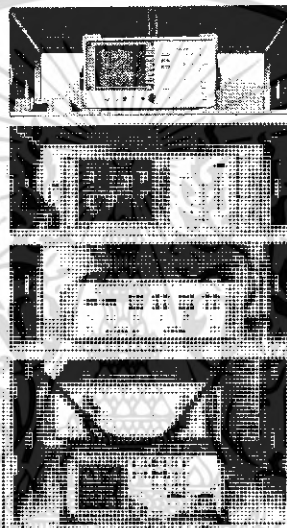
บทที่ 4

การทดลอง

4.1 แบบแผนการทดลอง

4.1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ต้องใช้ในการทดลอง

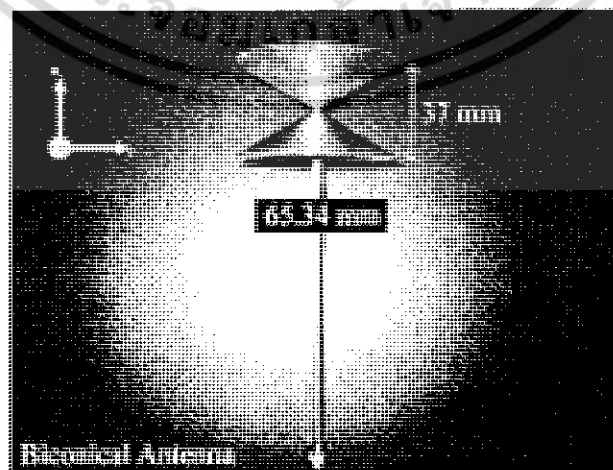
1. เครื่องวิเคราะห์เครือข่ายแบบเวกเตอร์ (Vector Network Analyzer : VNA) 1 เครื่อง



รูปที่ 4.1 ภาพของเครื่องวิเคราะห์เครือข่ายแบบเวกเตอร์
(Vector Network Analyzer : VNA)

2. สายอากาศแบบกรวยคู่ (Biconical Antenna)

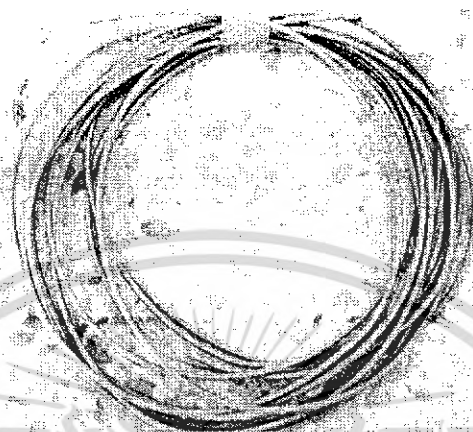
1 คู่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนรูปที่ 4.2 ภาพของสายอากาศแบบกรวยคู่ (Biconical Antenna) ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Coaxial Cable แบบ Semirigid

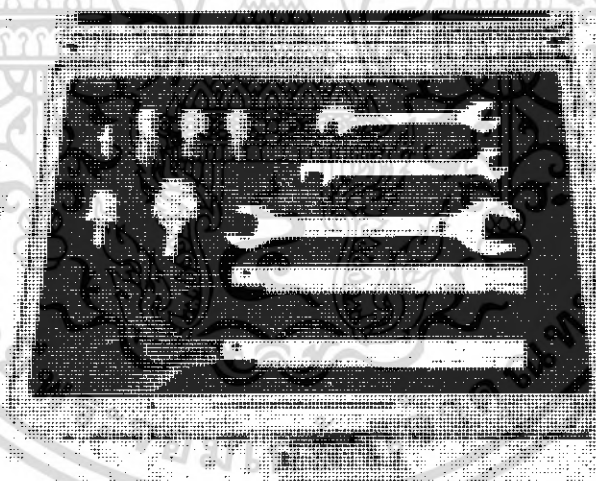
1 ชุด



รูปที่ 4.3 ภาพของสาย Coaxial Cable แบบ Semirigid

4. Connector

1 ชุด



รูปที่ 4.4 ภาพของชุด Connector

5. Computer (PC or Notebook) + GPIB Interface

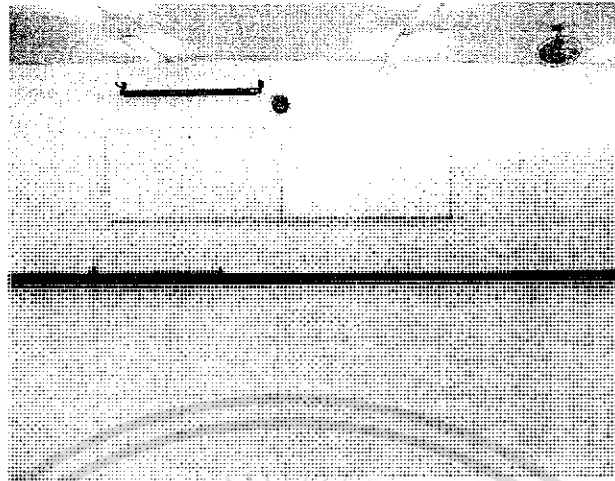
1 ชุด

6. แผ่นลดการสะท้อน (Absorber)

1 ชุด

7. พื้นลักษณะต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ภาพพื้นผิวเรียบ



รูปที่ 4.6 ภาพพื้นผิวขรุขระ

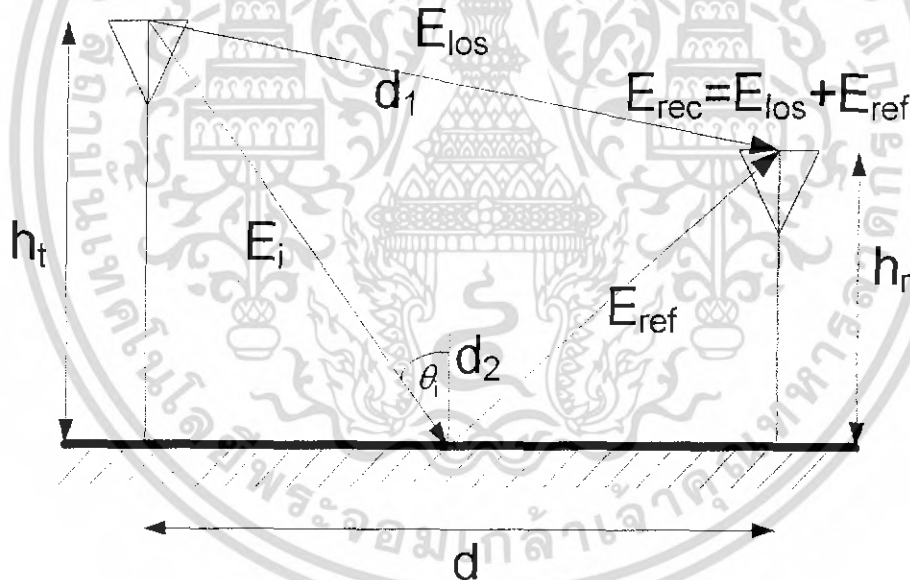


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการรูปที่ 4.7 ภาพพื้นผิวขรุขระจำนวนมากอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 แนวคิดเกี่ยวกับปัญหา

ในการศึกษาเกี่ยวกับการสื่อสารไร้สาย (Mobile Communication) องค์ประกอบทางด้าน การสะท้อนของคลื่นกับพื้นดิน (Ground Reflection) เป็นสาเหตุหนึ่งที่มีผลต่อการรับส่งสัญญาณ เรา จึงต้องทำการทดลองเพื่อหาช่องสัญญาณหรือ (Channel Propagation) ของระบบว่าผลเป็นอย่างไร ฉะนั้นในโครงการนี้ได้ทำการศึกษาและทดสอบสัญญาณการส่งผ่านย่านความถี่ Ultra-Wideband (UWB) ในกรณีที่ส่งผ่านจากพื้นในลักษณะต่างๆ ที่มีทั้งแบบเรียบและไม่เรียบ แล้วยังทำการปรับ ระดับความสูงของสายอากาศทางด้านรับ และทางด้านส่งอีกทั้งต้องทำการเปลี่ยนค่าระยะทางของ สายอากาศระหว่างทางด้านรับและด้านส่ง เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงและผลกระทบต่างๆ ที่มีต่อรูป สัญญาณ

4.3 รูปแบบโมเดลที่ใช้ในการทดลอง

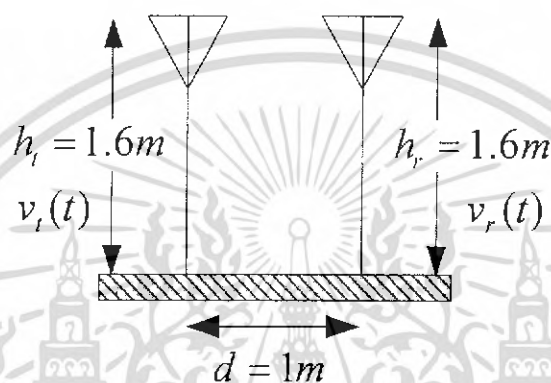


รูปที่ 4.8 แบบจำลองการสะท้อนจากพื้นผิว

จากรูปที่ 4.8 แสดงถึงแบบจำลองการสะท้อนจากพื้นผิว (Ground reflection model) หรือก็คือในลักษณะเป็น Two-Path Model เป็นแบบจำลองที่พิจารณาสัญญาณ 2 สัญญาณ คือ สัญญาณ ที่มาจากทิศทางตรง (Direct Path) และสัญญาณที่มาจาก การสะท้อน (Reflection Path)

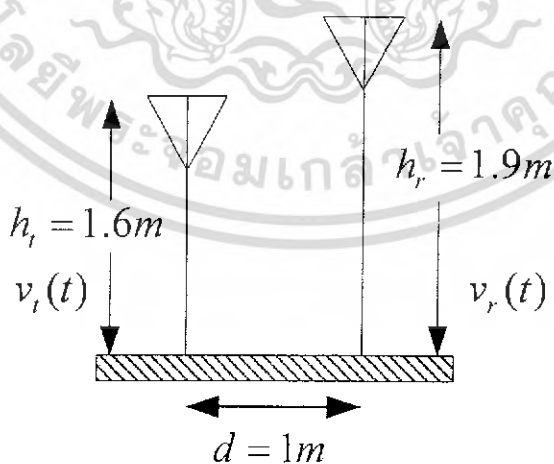
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จัดวางโมเดลตามรูปที่ 4.8 ซึ่งโมเดลในรูปที่ 4.8 นี้จะใช้ลักษณะของพื้นเป็นแบบผิวเรียบ (Smooth Ground) ใช้การจัดวางสายอากาศแบบ Vertical Polarization ซึ่งความสูงของสายอากาศด้านส่ง (Transmitter Antenna) กำหนดให้มีความสูง เท่ากับ 1.6 เมตร และความสูงของสายอากาศด้านรับ (Receiver Antenna) กำหนดให้มีความสูง เท่ากับ 1.6 เมตร และมีระยะทางระหว่างสายอากาศด้านส่งและด้านรับเท่ากับ 1 เมตร ตามรูปที่ 4.9 แล้วทำการทดลอง



รูปที่ 4.9 โมเดลการทดลองที่ระยะทางระหว่างสายอากาศด้านส่งและด้านรับเท่ากับ 1 เมตร

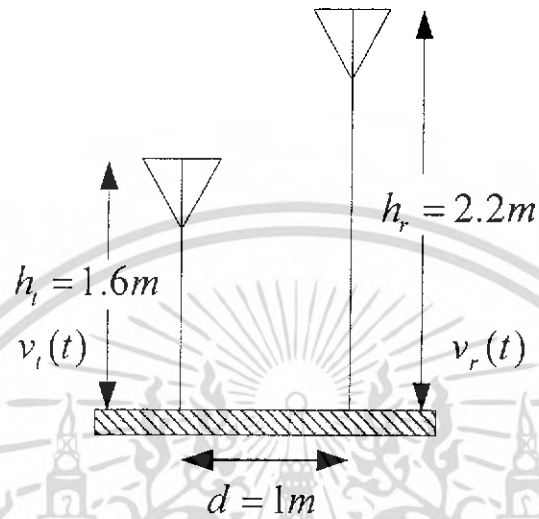
จากนั้นทำการเพิ่มความสูงสายอากาศด้านรับเพิ่มขึ้นอีก 0.3 เมตร จาก 1.6 เมตร เป็น 1.9 เมตร โดยที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งยังอยู่ที่ 1.6 เมตร เท่าเดิมตามรูปที่ 4.10 แล้วทำการทดลอง



รูปที่ 4.10 โมเดลการทดลองที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและความสูงของสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.9 เมตร ระยะทางระหว่างสายอากาศด้านส่งและด้านรับ เท่ากับ 1 เมตร

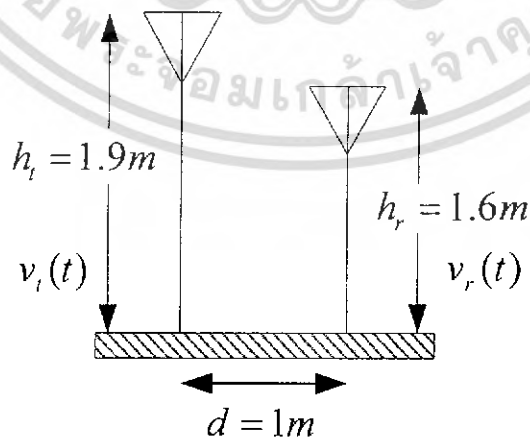
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นทำการเพิ่มความสูงสายอากาศด้านรับเพิ่มขึ้นอีก 0.3 เมตร จาก 1.9 เมตร เป็น 2.2 เมตร โดยที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งยังอยู่ที่ 1.6 เมตร เท่าเดิม ตามรูปที่ 4.11 แล้วทำการทดลอง



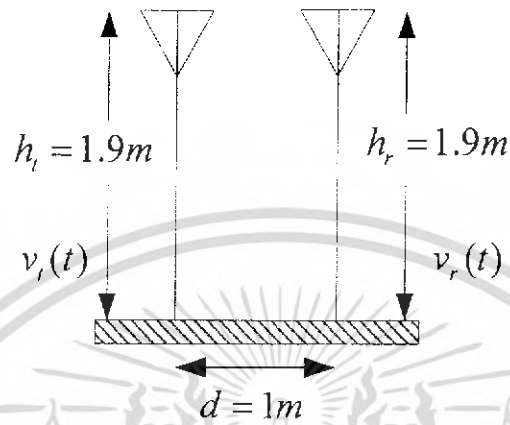
รูปที่ 4.11 โมเดลการทดลองที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและความสูงของสายอากาศด้านรับเท่ากับ 2.2 เมตร ระยะทางระหว่างสายอากาศด้านส่งและด้านรับ เท่ากับ 1 เมตร

เมื่อได้ทำการเปลี่ยนความสูงของสายอากาศทางด้านรับเรียบร้อยแล้ว ตอนนี้จึงทำการเปลี่ยนความสูงของสายอากาศด้านส่งเพิ่มขึ้นอีก 0.3 เมตร เป็น 1.9 เมตร โดยที่ความสูงของสายอากาศด้านรับอยู่ที่ 1.6 เมตร ตามรูปที่ 4.12



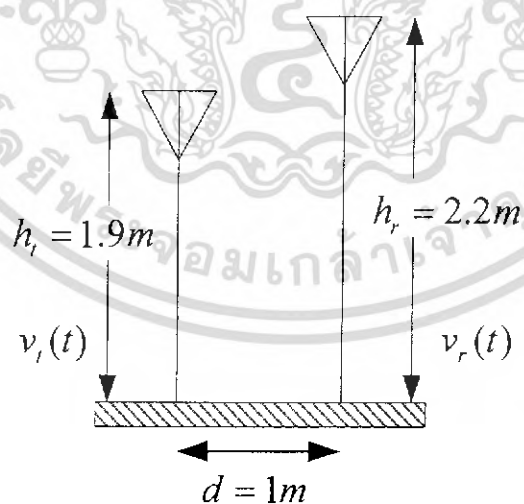
รูปที่ 4.12 โมเดลการทดลองที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.9 เมตรและความสูงของสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร ระยะทางระหว่างสายอากาศด้านส่งและด้านรับ เท่ากับ 1 เมตร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นทำการเพิ่มความสูงสายอากาศด้านรับเพิ่มขึ้นอีก 0.3 เมตร จาก 1.6 เมตร เป็น 1.9 เมตร โดยที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งยังอยู่ที่ 1.9 เมตร เท่าเดิม ตามรูปที่ 4.13 แล้วทำการทดลอง



รูปที่ 4.13 โมเดลการทดลองที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.9 เมตรและความสูงของสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.9 เมตร ระยะทางระหว่างสายอากาศด้านส่งและด้านรับ เท่ากับ 1 เมตร

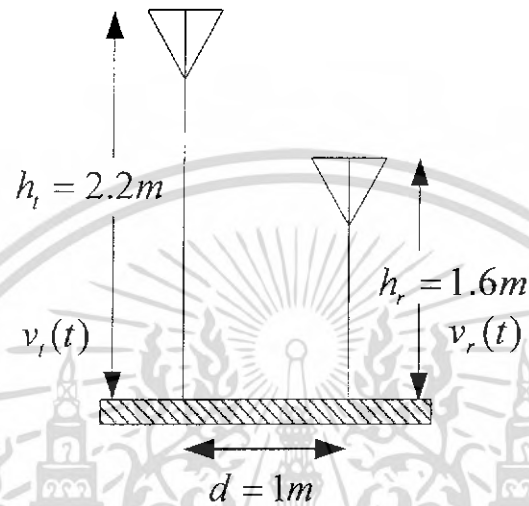
จากนั้นทำการเพิ่มความสูงสายอากาศด้านรับเพิ่มขึ้นอีก 0.3 เมตร จาก 1.9 เมตร เป็น 2.2 เมตร โดยที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งยังอยู่ที่ 1.9 เมตร เท่าเดิม ตามรูปที่ 4.14 แล้วทำการทดลอง



รูปที่ 4.14 โมเดลการทดลองที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและความสูงของสายอากาศด้านรับเท่ากับ 2.2 เมตร ระยะทางระหว่างสายอากาศด้านส่งและด้านรับ เท่ากับ 1 เมตร

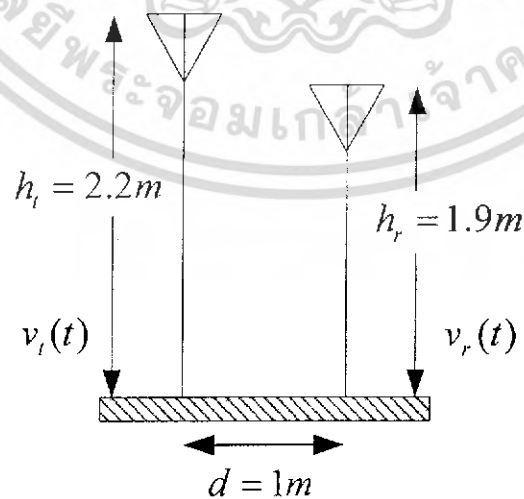
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการเปลี่ยนความสูงของสายอากาศทางด้านรับเรียบร้อยแล้ว ตอนนี้จึงทำการเปลี่ยนความสูงของสายอากาศด้านส่งเพิ่มขึ้นอีก 0.3 เมตร เป็น 2.2 เมตร โดยที่ความสูงของสายอากาศด้านรับอยู่ที่ 1.6 เมตร ตามรูปที่ 4.15



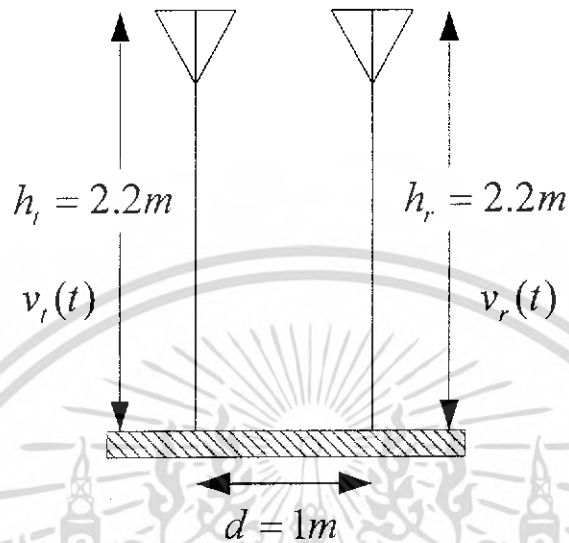
รูปที่ 4.15 โมเดลการทดลองที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 2.2 เมตรและความสูงของสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร ระยะทางระหว่างสายอากาศด้านส่งและด้านรับ เท่ากับ 1 เมตร

จากนั้นทำการเพิ่มความสูงสายอากาศด้านรับเพิ่มขึ้นอีก 0.3 เมตร จาก 1.6 เมตร เป็น 1.9 เมตร โดยที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งยังอยู่ที่ 2.2 เมตร เท่าเดิม ตามรูปที่ 4.16 แล้วทำการทดลอง



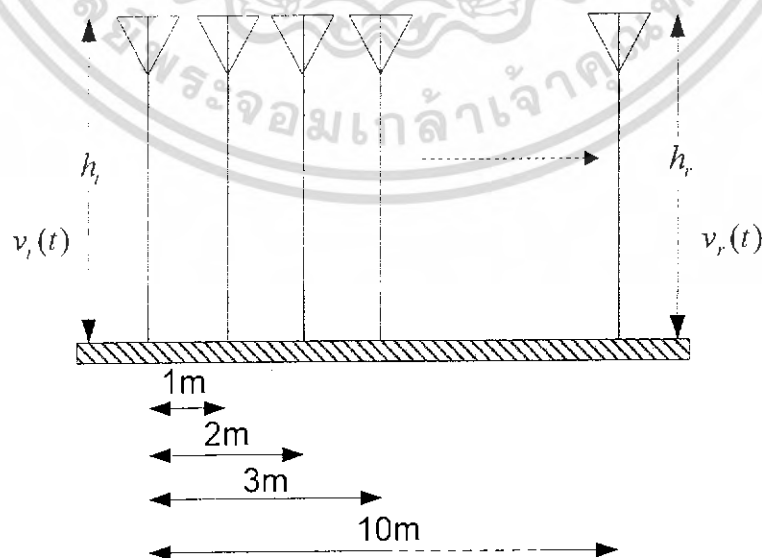
รูปที่ 4.16 โมเดลการทดลองที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 2.2 เมตรและความสูงของเสาอากาศด้านรับเท่ากับ 1.9 เมตร ระยะทางระหว่างสายอากาศด้านส่งและด้านรับ เท่ากับ 1 เมตร การคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นทำการเพิ่มความสูงสายอากาศด้านรับเพิ่มขึ้นอีก 0.3 เมตร จาก 1.9 เมตร เป็น 2.2 เมตร โดยที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งยังอยู่ที่ 2.2 เมตร เท่าเดิมตามรูปที่ 4.17 แล้วทำการทดลอง



รูปที่ 4.17 โมเดลการทดลองที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 2.2 เมตร และความสูงของสายอากาศด้านรับเท่ากับ 2.2 เมตร ระยะทางระหว่างสายอากาศด้านส่งและด้านรับ เท่ากับ 1 เมตร

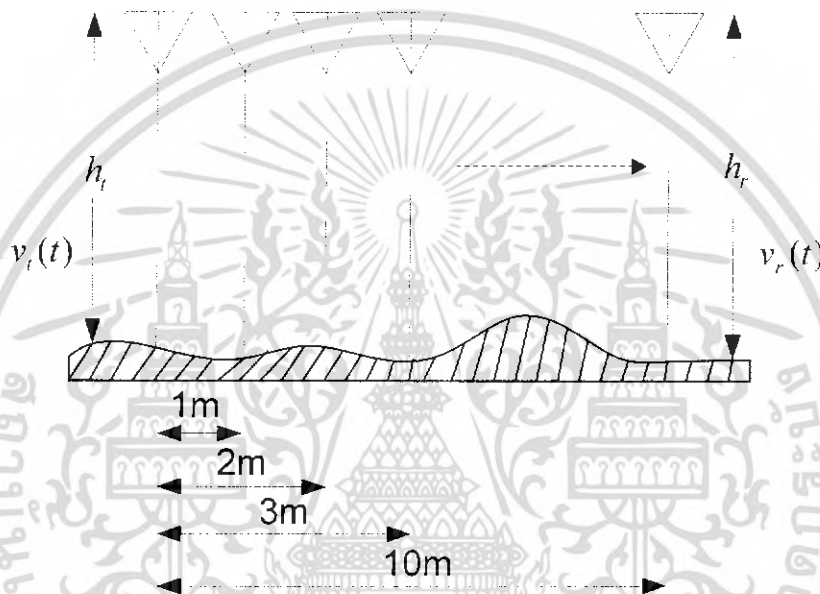
เมื่อทำการทดลองที่ระยะทางระหว่างสายอากาศด้านส่ง และสายอากาศด้านรับที่ 1 เมตร จนครบแล้ว จากนั้นทำการทดลองตามรูปที่ 4.9 จนถึง 4.17 ใหม่หมดแต่เปลี่ยนระยะทางระหว่างสายอากาศด้านส่งและด้านรับ เพิ่มขึ้นทีละ 1 เมตร จาก 1 เมตร จนถึง 10 เมตร



รูปที่ 4.18 โมเดลการเปลี่ยนระยะทางระหว่างสายอากาศด้านส่งและด้านรับเพิ่มขึ้นทีละ 1 เมตร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่โดยหน่วยงานการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการทดลองครบจนหมดแล้ว จากนั้นให้ทำการเปลี่ยนมุมของสายอากาศจาก Vertical Polarization เป็น Horizontal Polarization แล้วทำการทดลองทุกขั้นตอนใหม่หมดอีกครั้ง

จากนั้นเมื่อเราได้ทำการทดลองจนครบของพื้นผิวเรียบหมดแล้ว จึงทำการเปลี่ยนลักษณะของพื้นเป็นแบบผิวขรุขระ และขรุขระมากแล้วทำการทดลองตามรูป 4.9 ถึง 4.18 ใหม่หมดอีกครั้ง โดยลักษณะของพื้นผิวขรุขระจะใช้เป็นลักษณะของพื้นทราย และพื้นผิวขรุขระมากจะใช้เป็นลักษณะของพื้นหิน



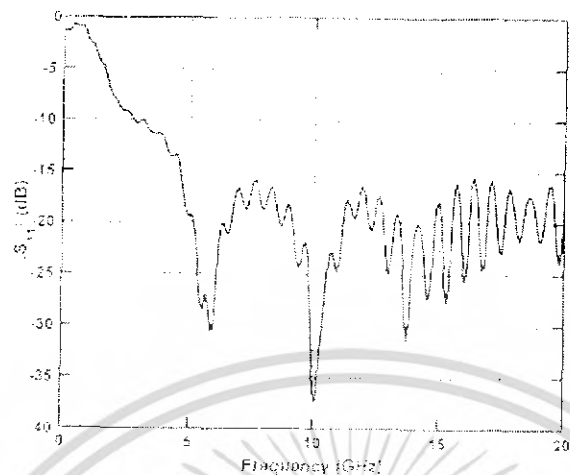
รูปที่ 4.19 โมเดลการเปลี่ยนระยะทางระหว่างสายอากาศด้านส่งและด้านรับ เพิ่มขึ้นทีละ 1 เมตร ของพื้นผิวขรุขระ

4.4 สายอากาศที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองในครั้งนี้ได้กำหนดให้อยู่ในรูปแบบของการแพร่กระจายคลื่น (Broadband) โดยได้เลือกพิจารณาใช้เสาอากาศแบบไบโคนิกอน (Biconical) ซึ่งได้แสดงรูปแบบ และขนาดได้ใน รูปที่ 4.20 ซึ่งจะเป็นสายอากาศที่นำมาใช้จริงในการทดลองทั้งด้านรับและด้านส่งสัญญาณ



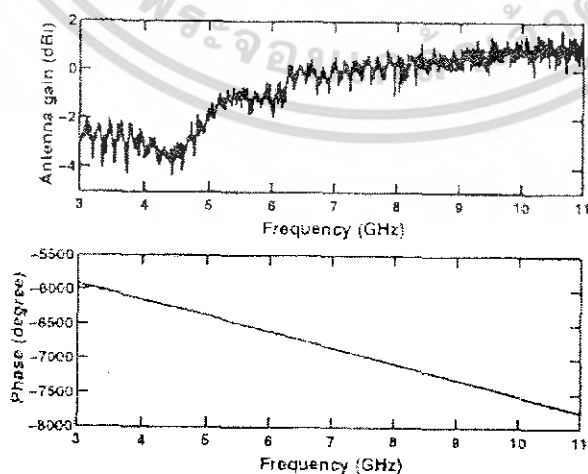
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนรูปที่ 4.20 ลักษณะและขนาดของสายอากาศไบโคนิกอน
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 คุณลักษณะของสายอากาศไบโคนิคอน

สายอากาศไบโคนิคอนเป็นสายอากาศที่มีลักษณะการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง การพิจารณาสายอากาศไบโคนิคอนนี้ ได้พิจารณาจากการกระจายของสายอากาศ ซึ่งมีความเหมาะสมกับรูปคลื่นสัญญาณแบบพัลส์โดยกวาด้านบนของสายอากาศใช้ติดต่อกับสัญญาณความถี่คลื่นวิทยุ ขณะที่กวาด้านล่างใช้ติดต่อกับกราวด์ จากรูปที่ 4.21 นี้แสดงถึงค่าประสิทธิภาพการสะท้อนกลับ (Reflection coefficient) $|S_{11}|$ ของสายอากาศไบโคนิคอน ให้เห็นว่าค่าประสิทธิภาพการสะท้อนกลับนั้นมีค่าต่ำกว่า -10 dB ในช่วงความถี่ระหว่าง 3.1 GHz และ 10.6 GHz

ในส่วนของการแสดงถึงขนาดของฟังก์ชันที่ใช้ในการส่งผ่าน และเฟสที่ใช้ในการส่งผ่านของสายอากาศ ซึ่งเป็นคุณลักษณะของสายอากาศแบบไบโคนิคอน (Biconical) ที่นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้โดยแสดงไว้ในรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 ขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่าน (Antenna gain) และเฟสของฟังก์ชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่อาจารย์มอบหมายเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 พารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการทดลอง

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการทดลอง

พารามิเตอร์	Value
ช่วงความถี่ที่ทำการทดลอง	3.1-10.6 GHz
จำนวนของตำแหน่งความถี่	801
ความสูงสายอากาศด้านส่ง	1.6 เมตร ถึง 2.2 เมตร (เพิ่มทีละ 0.3 เมตร)
ความสูงสายอากาศด้านรับ	1.6 เมตร ถึง 2.2 เมตร (เพิ่มทีละ 0.3 เมตร)
ระยะห่างระหว่างสายอากาศด้านส่งและด้านรับ	1 เมตร ถึง 10 เมตร
มุมของสายอากาศ	แนวตั้งและแนวนอน
ชนิดของสายอากาศ	ไบโคโนคอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

5.1 บทนำ

หลังจากที่ได้กล่าวถึงทฤษฎีของระบบการสื่อสารแบบ Ultra-Wideband และทฤษฎีเกี่ยวกับการสะท้อนของคลื่นตามที่ได้อธิบายแล้วในบทที่ 3 และบทที่ 4 มาแล้วเรียบร้อย ในบทนี้จะนำเสนอถึงผลของการทดลองที่ได้ทำการวัดตามโมเดลของการทดลองในบทที่ 3 โดยที่ผลที่วัดได้จะเป็นช่องสัญญาณ ของระบบการสื่อสารแบบ Ultra-Wideband แล้วจะทำการสร้างสัญญาณแบบ Rectangular Pass Band Wave Form ส่งผ่านเข้าไปในช่องสัญญาณที่วัดได้แล้วจะนำเอาที่พุดที่ออกมาใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งผลที่นำมาวิเคราะห์จะแสดงออกมา 5 แบบคือค่าการสูญเสียเชิงวิถีซึ่งตั้งแต่นี้จะเรียกว่าค่า Path Loss, ค่าเฉลี่ยของการหน่วงเวลาของสัญญาณที่เข้าถึงซึ่งตั้งแต่นี้บทความนี้จะเรียกว่าค่า Mean Excess Delay, ค่าเวลาที่ล่าช้าของสัญญาณที่สะท้อนจากพื้นที่เป็นสัดส่วน กับระดับพลังงานของสัญญาณที่สะท้อนจากพื้นซึ่งในบทความนี้จะเรียกว่าค่า R.M.S Delay Spread, และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่จะใช้หาถึงค่าความผิดเพี้ยนของสัญญาณ ซึ่งในบทความนี้จะใช้เรียกว่าค่า Correlation Coefficient และผลของสัญญาณที่ Optimum โดยผ่าน Matched filter ซึ่งในบทความนี้จะเรียกว่าสัญญาณที่ Optimum และเนื้อหาในบทนี้จะแบ่งออกตามลักษณะของผลที่นำมาวิเคราะห์ออกเป็น 5 ส่วนด้วยกัน โดยที่ในแต่ละส่วนจะแสดงผลในทุก โมเดลที่ทำการทดลองคือ

- 1) ที่ความสูงของสายอากาศด้านรับ และด้านส่งมีความสูงที่เท่ากันคือ 1.6 เมตร ใช้มุมของสายอากาศเป็นแบบแนวตั้งและระยะห่างของสายอากาศด้านส่งและด้านรับตั้งแต่ 1 เมตรถึง 10 เมตร
- 2) ที่ความสูงของสายอากาศด้านรับและด้านส่งมีความสูงที่เท่ากันคือ 2.2 เมตร ใช้มุมของสายอากาศเป็นแบบแนวตั้งและระยะห่างของสายอากาศด้านส่งและด้านรับตั้งแต่ 1 เมตรถึง 10 เมตร
- 3) ที่ความสูงของสายอากาศด้านรับและด้านส่งมีความสูงที่เท่ากันคือ 1.6 เมตร ใช้มุมของสายอากาศเป็นแบบแนวนอนและระยะห่างของสายอากาศด้านส่งและด้านรับตั้งแต่ 1 เมตรถึง 10 เมตร
- 4) ที่ความสูงของสายอากาศด้านรับและด้านส่งมีความสูงที่เท่ากันคือ 2.2 เมตร ใช้มุมของสายอากาศเป็นแบบแนวนอน และระยะห่างของสายอากาศด้านส่งและด้านรับตั้งแต่ 1 เมตรถึง 10 เมตร

5) ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งมีความสูงเพิ่มขึ้นเป็น 1.9 เมตร และความสูงของสายอากาศด้านรับที่ 1.6 เมตร โดยที่มุมของสายอากาศที่ใช้เป็นแบบแนวตั้งและระยะห่างของสายอากาศด้านส่งและด้านรับตั้งแต่ 1 เมตรถึง 10 เมตร

การศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งมีความสูงเพิ่มขึ้นเป็น 2.2 เมตร และความสูงของสายอากาศด้านรับที่ 1.6 เมตร โดยที่มุมของสายอากาศที่ใช้เป็นแบบแนวตั้งและระยะห่างของสายอากาศด้านส่งและด้านรับตั้งแต่ 1 เมตรถึง 10 เมตร

7) ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งมีความสูงเพิ่มขึ้นเป็น 1.9 เมตร และความสูงของสายอากาศด้านรับที่ 1.6 เมตร โดยที่มุมของสายอากาศที่ใช้เป็นแบบแนวนอนและระยะห่างของสายอากาศด้านส่งและด้านรับตั้งแต่ 1 เมตรถึง 10 เมตร

8) ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งมีความสูงเพิ่มขึ้นเป็น 2.2 เมตร และความสูงของสายอากาศด้านรับที่ 1.6 เมตร โดยที่มุมของสายอากาศที่ใช้เป็นแบบแนวนอนและระยะห่างของสายอากาศด้านส่งและด้านรับตั้งแต่ 1 เมตรถึง 10 เมตร

9) หลังจากหัวข้อที่ 5 ถึงหัวข้อที่ 8 เป็นการปรับความสูงของสายอากาศด้านส่งแล้วในหัวข้อนี้จะทำการปรับความสูงของสายอากาศด้านรับ คือสายอากาศด้านรับมีความสูงเพิ่มขึ้นเป็น 1.9 เมตร และความสูงของสายอากาศด้านส่งที่ 1.6 เมตร โดยที่มุมของสายอากาศที่ใช้เป็นแบบแนวตั้งและระยะห่างของสายอากาศด้านส่งและด้านรับตั้งแต่ 1 เมตรถึง 10 เมตร

10) สายอากาศด้านรับมีความสูงเพิ่มขึ้นเป็น 2.2 เมตร และความสูงของสายอากาศด้านส่งที่ 1.6 เมตร โดยที่มุมของสายอากาศที่ใช้เป็นแบบแนวตั้ง และระยะห่างของสายอากาศด้านส่งและด้านรับตั้งแต่ 1 เมตรถึง 10 เมตร

11) สายอากาศด้านรับมีความสูงเพิ่มขึ้นเป็น 1.9 เมตร และความสูงของสายอากาศด้านส่งที่ 1.6 เมตร โดยมุมของสายอากาศที่ใช้เป็นแบบแนวนอน และระยะห่างของสายอากาศด้านส่งและด้านรับห่างตั้งแต่ 1 เมตรถึง 10 เมตร

12) สายอากาศด้านรับมีความสูงเพิ่มขึ้นเป็น 2.2 เมตร และความสูงของสายอากาศด้านส่งที่ 1.6 เมตร โดยมุมของสายอากาศที่ใช้เป็นแบบแนวนอน และระยะห่างของสายอากาศด้านส่งและด้านรับห่างตั้งแต่ 1 เมตรถึง 10 เมตร

5.2 วิเคราะห์และแสดงค่าของ Path loss ที่ได้จากทดลอง

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้ค่า Path Loss มาใช้ในการวิเคราะห์หาการลดทอนของสัญญาณด้านรับซึ่งค่า Path Loss ที่ใช้คำนวณในแบบจำลอง Ground Reflection เป็นอัตราส่วนของขนาดยอดคลื่นที่สูงที่สุดของสัญญาณด้านส่งกับขนาดของยอดคลื่นที่สูงที่สุดของสัญญาณด้านรับ โดยที่ในการทดลองนี้จะเป็นการวัดในลักษณะแบบ LOS (Line Of Sight) โดยใช้รูปแบบของพื้นที่ทั้ง 3 ชนิด คือ พื้นเรียบซึ่งจะเป็นพื้นหินขัด (Smooth) พื้นขรุขระซึ่งจะเป็นพื้นทราย (Rough) และพื้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

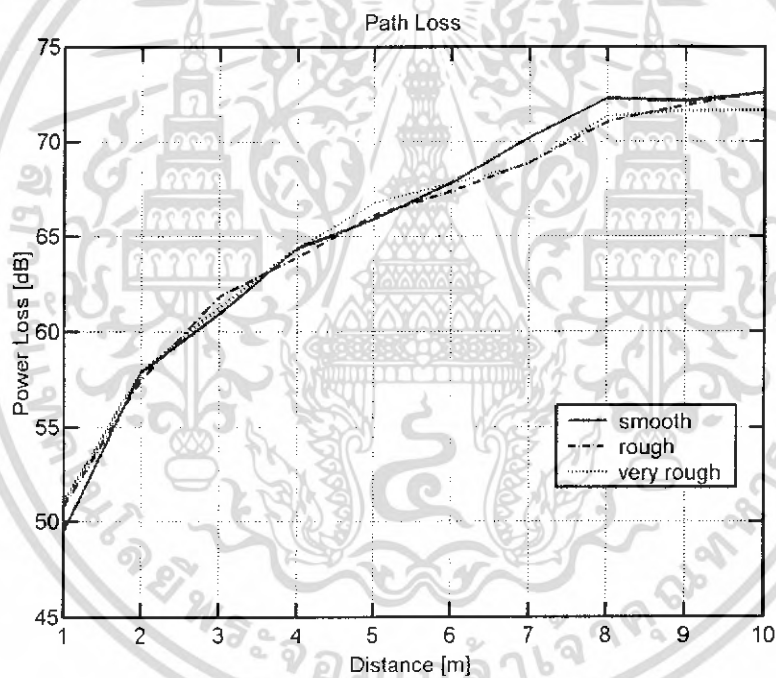
ขรุขระมากเป็นพื้นหิน (Very Rough) เป็นพารามิเตอร์หลักในการทดลอง ซึ่งใช้ในการเปรียบเทียบค่าต่างๆ โดยที่ค่าของ Path Loss หาได้จาก

$$Pl = -10 \log_{10} \left(\frac{V_r}{V_t} \right) \quad (5.1)$$

ค่า V_r = แรงดันของสัญญาณด้านรับ

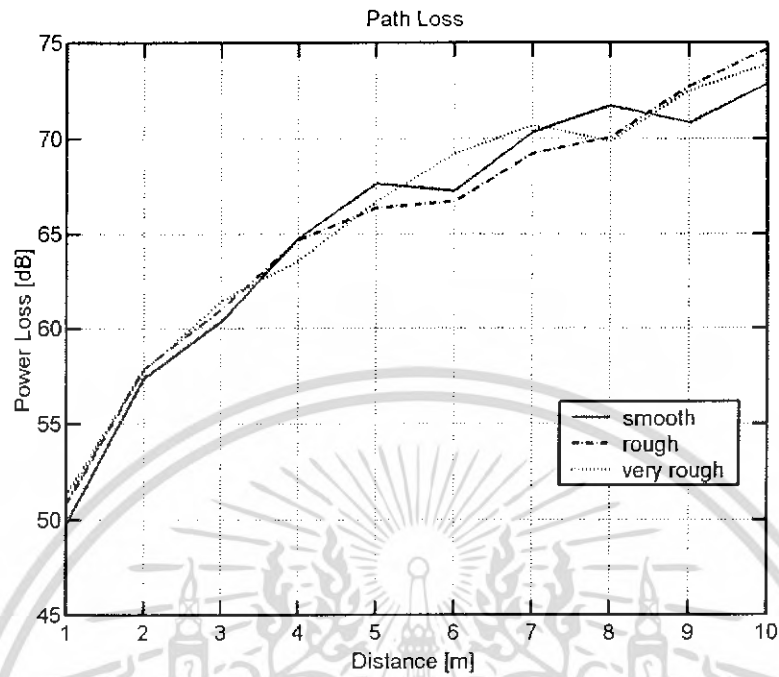
ค่า V_t = แรงดันของสัญญาณด้านส่ง

และค่าที่ได้จะแสดงดังต่อไปนี้

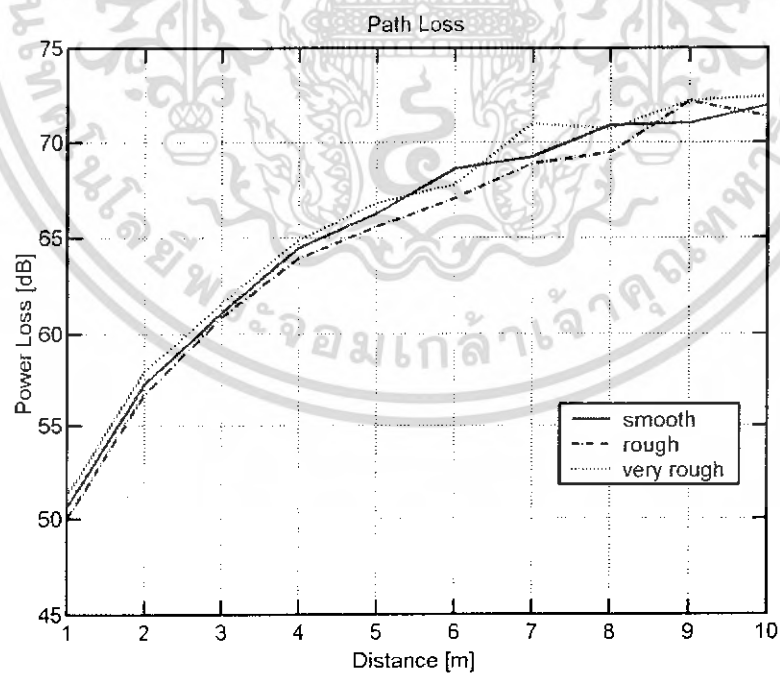


รูปที่ 5.1 ค่า Path loss ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

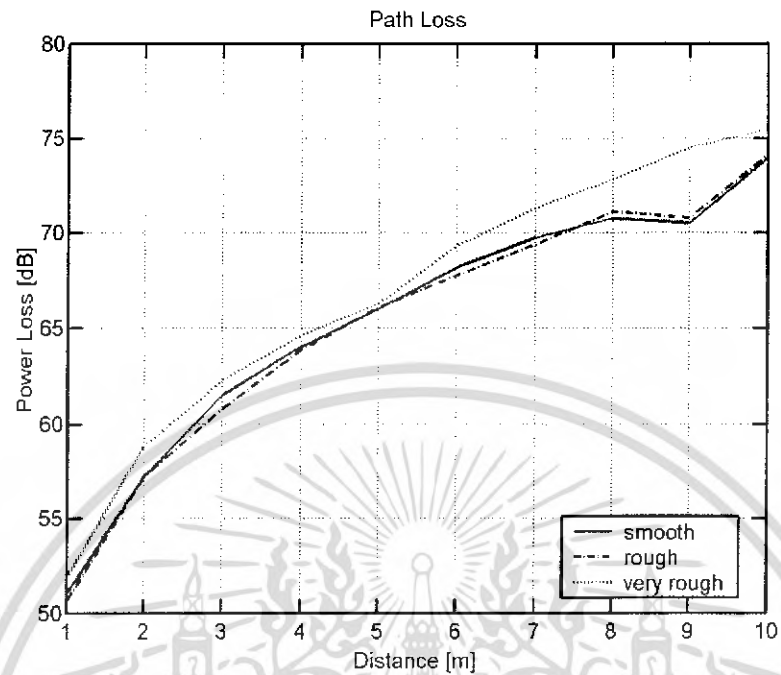


รูปที่ 5.2 ค่า Path loss ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 2.2 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 2.2 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง



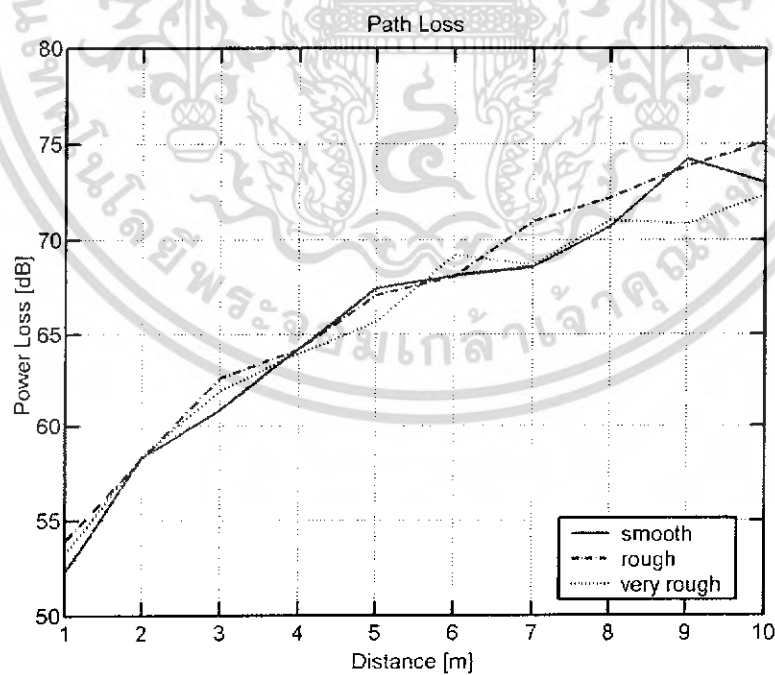
รูปที่ 5.3 ค่า Path loss ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 ค่า Path loss ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 2.2 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ

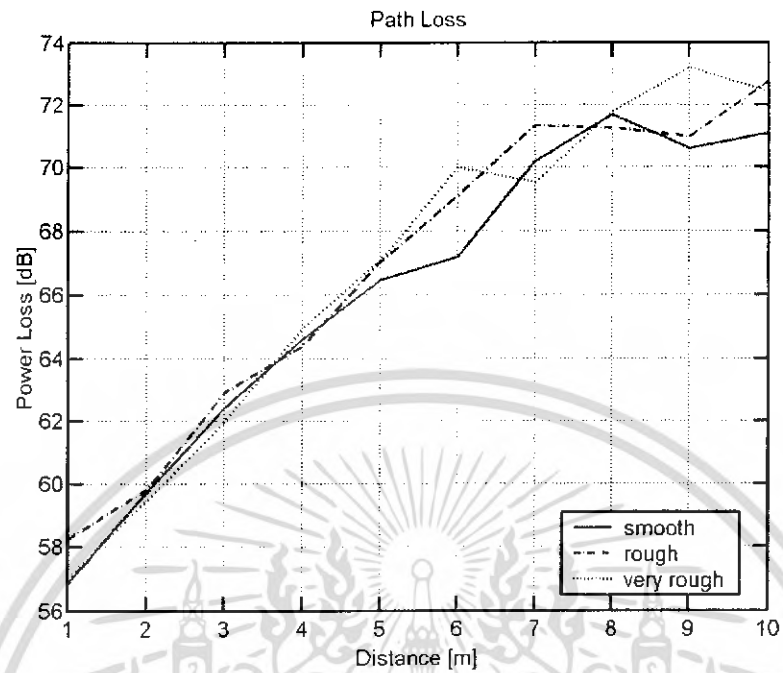
2.2 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน



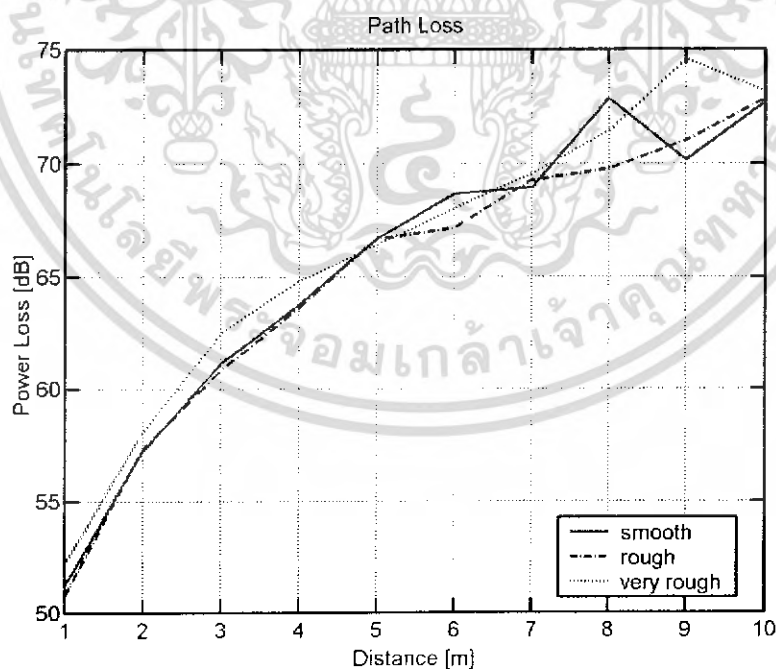
รูปที่ 5.5 ค่า Path loss ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.9 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ

1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

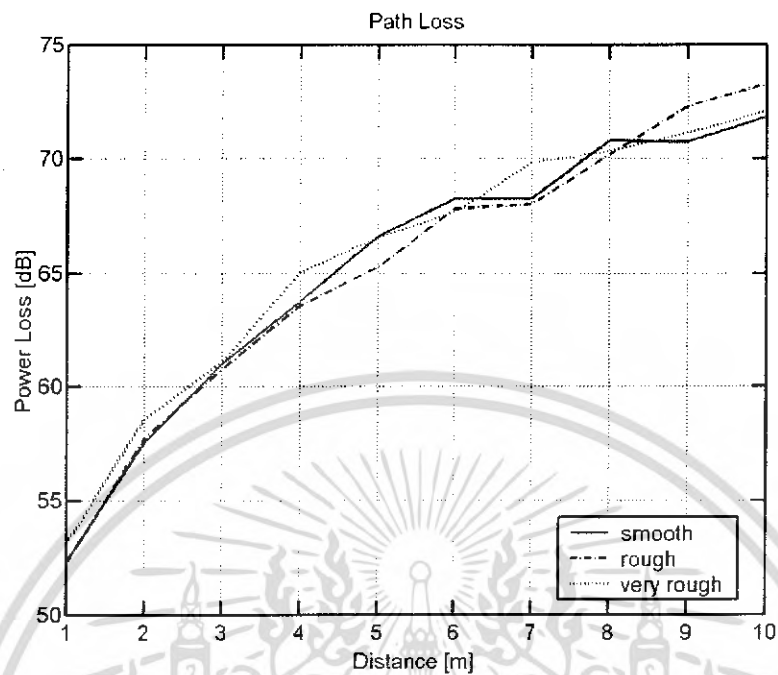


รูปที่ 5.6 ค่า Path loss ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 2.2 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง

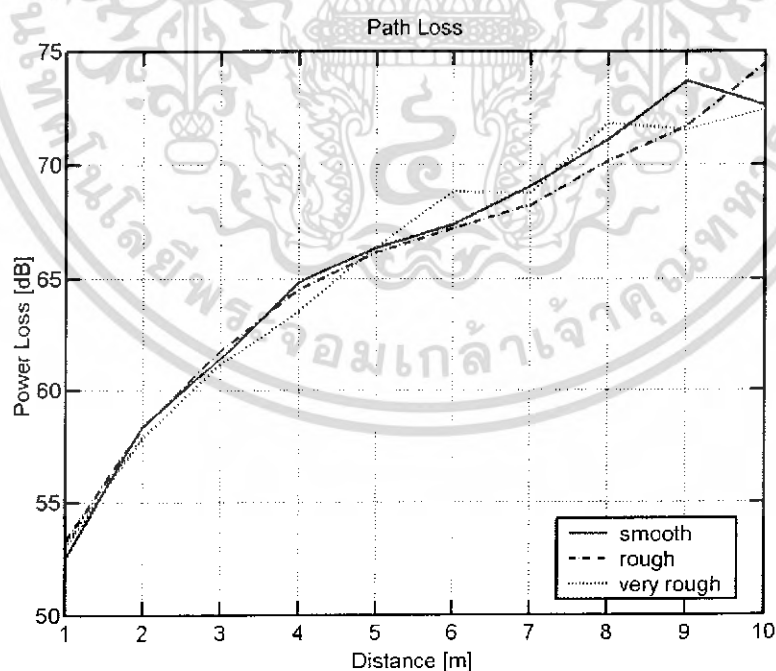


รูปที่ 5.7 ค่า Path loss ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.9 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

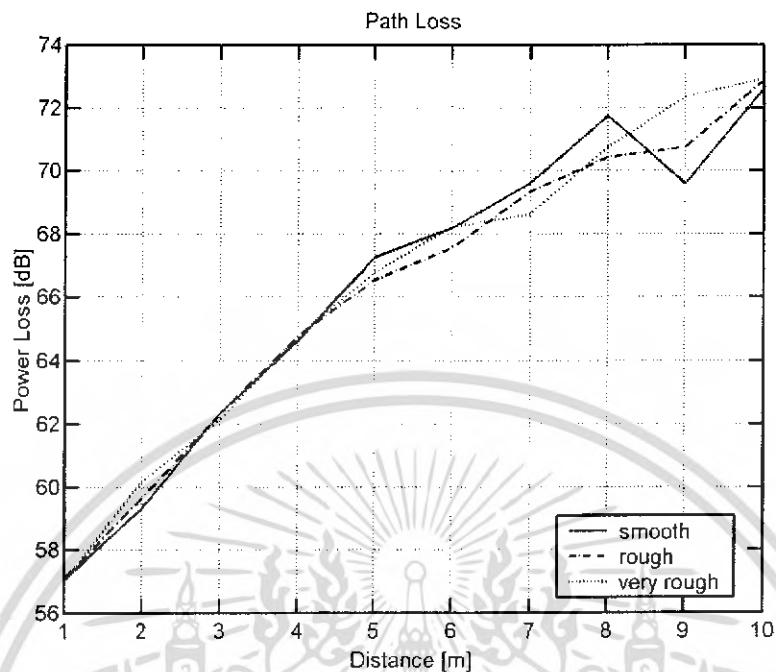


รูปที่ 5.8 ค่า Path loss ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 2.2 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน

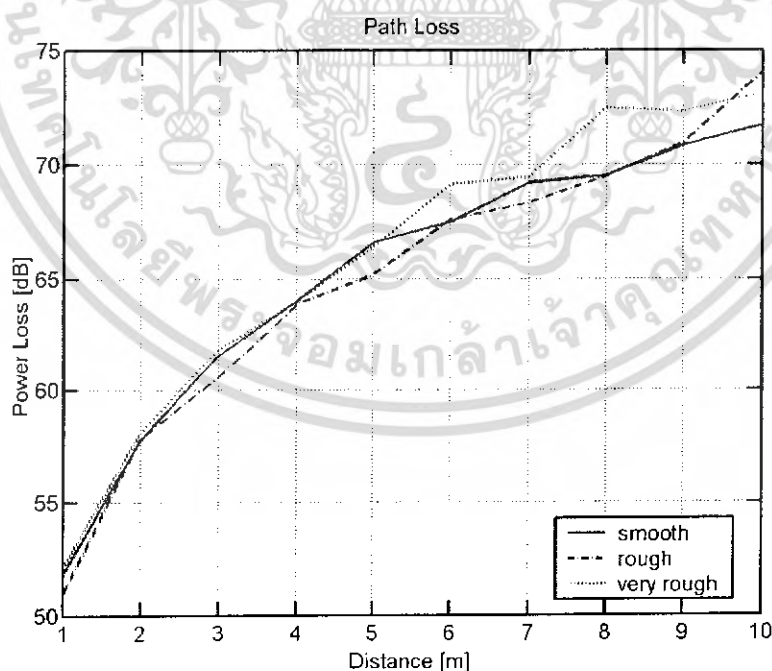


รูปที่ 5.9 ค่า Path loss ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.9 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

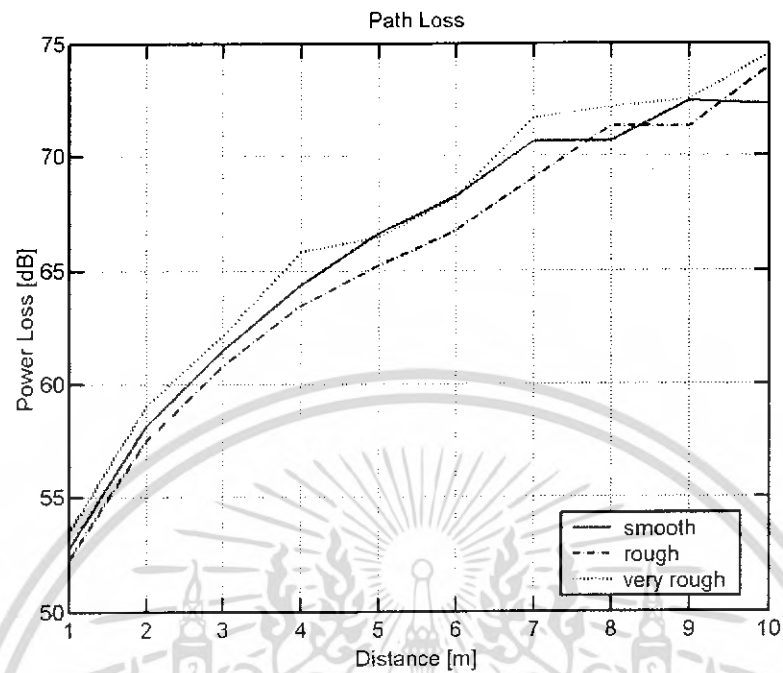


รูปที่ 5.10 ค่า Path loss ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 2.2 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง



รูปที่ 5.11 ค่า Path loss ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.9 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.12 ค่า Path loss ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 2.2 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 ค่า Path Loss (dB) เทียบกับ โมเดลและระยะทางต่างๆ

สายอากาศด้านส่งสูง 1.6 เมตร สายอากาศด้านรับสูง 1.6 เมตร สายอากาศเป็นแบบแนวตั้ง										
ระยะทาง (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เรียบ	49	57	60	64	65	67	70	72	72	72
ขรุขระ	50	57	61	63	66	67	68	71	71	72
ขรุขระมาก	51	57	61	64	66	67	68	71	71	71
สายอากาศด้านส่งสูง 1.6 เมตร สายอากาศด้านรับสูง 1.6 เมตร สายอากาศเป็นแบบแนวนอน										
ระยะทาง (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เรียบ	56	57	61	64	66	68	69	70	71	71
ขรุขระ	50	57	61	63	66	67	68	71	71	72
ขรุขระมาก	51	57	61	64	66	67	68	71	71	71
สายอากาศด้านส่งสูง 2.2 เมตร สายอากาศด้านรับสูง 2.2 เมตร สายอากาศเป็นแบบแนวนอน										
ระยะทาง (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เรียบ	51	57	61	64	66	68	69	70	70	73
ขรุขระ	50	57	60	63	66	67	69	71	70	74
ขรุขระมาก	51	58	62	64	66	69	71	72	74	75
สายอากาศด้านส่งสูง 2.2 เมตร สายอากาศด้านรับสูง 1.6 เมตร สายอากาศเป็นแบบแนวนอน										
ระยะทาง (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เรียบ	52	57	61	63	66	68	68	70	70	71
ขรุขระ	52	57	60	63	65	67	68	70	72	73
ขรุขระมาก	53	58	61	65	66	67	69	70	71	72
สายอากาศด้านส่งสูง 1.6 เมตร สายอากาศด้านรับสูง 2.2 เมตร สายอากาศเป็นแบบแนวนอน										
ระยะทาง (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เรียบ	52	58	61	64	66	68	70	70	72	72
ขรุขระ	52	57	60	63	65	66	69	71	71	73
ขรุขระมาก	53	59	62	65	66	68	71	72	72	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองที่ได้มาจะพบว่ากรณีพื้นที่ทั้ง 3 แบบนั้น ในระยะความห่างของสายอากาศ ด้านส่งและด้านรับจะมีผลทำให้ค่า Path Loss มีค่าสูงขึ้นซึ่งถ้าระยะห่างของสายอากาศมากขึ้นค่า Path Loss จะสูงขึ้นตามไปด้วย นั่นคือที่ระยะห่างของสายอากาศด้านรับและด้านส่งที่ห่างกันที่ 1 เมตรของความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร จะมีค่าของ Path Loss ที่ 50 dB และถ้าระยะห่างของสายอากาศด้านส่งและด้านรับที่ 10 เมตร ค่า Path Loss ที่ได้จะมีค่าอยู่ที่ ประมาณ 75 dB

จากรูปที่ 5.2 จะเห็นว่าค่าของ Path Loss มีค่าที่สูงกว่าค่าในรูปที่ 5.1 เพียงเล็กน้อยคือที่ ระยะห่างของสายอากาศที่ 1 เมตรนั้นจะมี Path Loss ที่ 52 dB แต่ที่ระยะห่าง 10 เมตรนั้นจะมีค่าของ Path Loss ที่ 75 dB อาจจะบอกได้ว่ามีค่าที่ไม่ต่างกันมากแต่ก็แสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่าที่พื้นผิวเรียบมีค่าของ Path Loss ต่ำกว่าค่าของ Path Loss ของพื้นผิวขรุขระและขรุขระมากซึ่งค่าของพื้นผิว แบบขรุขระมากจะมีค่าของ Path Loss มากที่สุด

จากรูปที่ 5.3 จะเห็นได้ว่าการแสดงผลค่า Path Loss จะแยกรูปแบบของสัญญาณได้ดีกว่า การวางมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง ดังนั้นจึงนำมาพิจารณาหาผลของ Path Loss และผลอื่นๆ ได้ ดีกว่า

ซึ่งถ้าในกรณีที่สายอากาศด้านส่งสูงกว่าสายอากาศด้านรับมากๆ แล้วจะพบว่าที่ระยะห่าง ของสายอากาศที่ประมาณ 1 เมตรถึง 3 เมตรจะมีค่าของ Path Loss เพิ่มขึ้นประมาณ 4 dB–6 dB คือ ที่สายอากาศด้านส่งสูง 1.9 เมตรตามรูปที่ 5.5 และรูปที่ 5.7 ค่าของ Path Loss จะอยู่ที่ประมาณ 52 dB และ 54 dB ตามลำดับแต่ที่ระยะห่างของสายอากาศที่ 10 เมตร นั้นค่าจะยังไม่เปลี่ยนแปลงจะอยู่ ที่ประมาณ 75 dB ซึ่งถ้านำไปเปรียบเทียบกับรูปที่ 5.1 แล้วจะถือว่าไม่เปลี่ยนแปลงไปมาก

และถ้าในกรณีที่สายอากาศด้านรับสูงกว่าสายอากาศด้านส่งจะเห็นว่าค่าของ Path Loss ใน ทุกๆกรณีนั้นจะมีค่าต่างกับในกรณีที่สายอากาศด้านส่งสูงกว่าประมาณ 1 dB–2 dB ซึ่งในรูปที่ 5.9 และรูปที่ 5.10 ที่ระยะห่างของสายอากาศที่ 1 เมตร ค่า Path Loss จะอยู่ที่ 52 dB และ 57 dB แต่ที่ 10 เมตร จะยังมีค่าที่ใกล้เคียงกับค่าในรูปอื่นๆ ที่ผ่านมา คือประมาณ 75 dB

เพราะฉะนั้นเราจะสรุปได้ว่าถ้าพื้นผิวมีความขรุขระมากขึ้นจะส่งผลให้ค่าของ Path Loss สูงขึ้นตามไปด้วยและระยะห่างที่เพิ่มขึ้นของสายอากาศด้านส่ง และด้านรับนั้นมีผลทำให้ค่า Path Loss สูงตามขึ้นไปด้วย ความสูงของสายอากาศที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ระยะทางระหว่างสายอากาศทั้งสองมากขึ้นด้วยซึ่งทำให้กำลังงานของสัญญาณน้อยลงไปด้วยส่วนถ้าความสูงของสายอากาศด้านส่ง สูงกว่าด้านรับนั้นถ้าในระยะห่างของสายอากาศที่ 1 เมตร ถึง 3 เมตร ค่าของ Path Loss จะสูงกว่า ปกติประมาณ 4 dB และ 6 dB ที่ความสูงต่างกัน 0.3 เมตร และ 0.6 เมตร ตามลำดับ แต่ในระยะห่างที่ มากกว่า 3 เมตรนั้นค่าจะยังไม่แตกต่างกันมาก และในส่วนของความสูงของสายอากาศด้านรับสูง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว่าด้านส่งนั้นถ้าในระยะห่างของสายอากาศที่ 1 เมตร ถึง 3 เมตร ค่าของ Path Loss จะสูงกว่าปกติ ประมาณ 2 dB และ 6 dB ที่ความสูงต่างกัน 0.3 เมตร และ 0.6 เมตร ตามลำดับ ซึ่งความสูงของสายอากาศด้านส่งและด้านรับที่ไม่เท่ากันก็มีผลต่อค่าของ Path Loss ส่วนมุมของสายอากาศแบบแนวนอนจะใช้ในการสื่อสารแบบ 2 ทิศทาง ได้ดีกว่าแบบแนวตั้งเพราะจะแสดงผลได้เด่นชัดกว่า

5.3 วิเคราะห์และแสดงค่าของ Mean Excess Delay ที่ได้จากการทดลอง

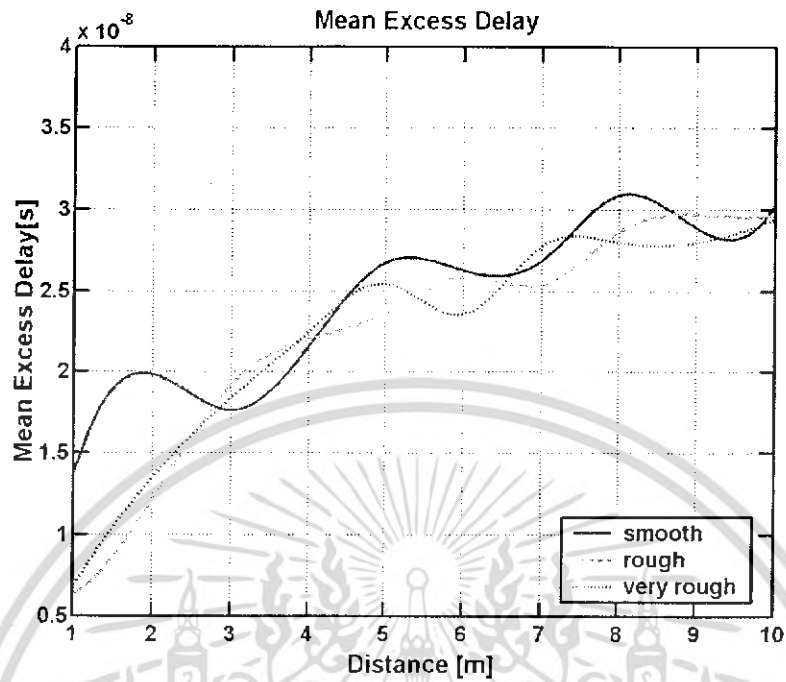
การแสดงผลในส่วนนี้จะแสดงค่าของ Mean Excess Delay ที่จะแสดงอยู่ในรูปของเวลาเทียบกับระยะทาง โดยใช้รูปแบบของพื้นที่ทั้ง 3 ชนิดคือ พื้นเรียบซึ่งจะเป็นพื้นหินขัด (Smooth) พื้นขรุขระซึ่งจะเป็นพื้นทราย (Rough) และพื้นแบบขรุขระมากเป็นพื้นหิน (Very Rough) เป็นพารามิเตอร์หลักในการทดลอง ซึ่งค่า Mean Excess Delay เป็นตัวแปรในช่องสัญญาณมัลติพาร์ท ซึ่งสามารถคำนวณหาได้จาก Power Delay Profile โดยค่า Mean Excess Delay เป็นลักษณะสำคัญของสัญญาณที่กระจายออกของช่องสัญญาณมัลติพาร์ท โดยทั่วไปจะแสดงถึงคุณภาพของช่องสัญญาณ โดยที่ค่า Mean Excess Delay จะคำนวณหาได้จาก

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_k a_k^2 \tau_k}{\sum_k a_k^2} = \frac{\sum_k P(\tau_k) \tau_k}{\sum_k P(\tau_k)} \quad (5.2)$$

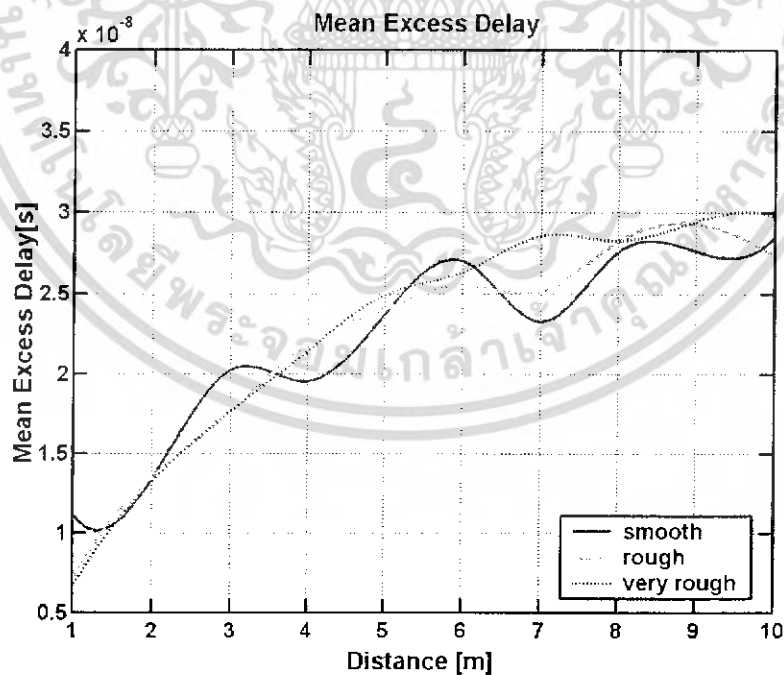
a_k = แอมพลิจูดของสัญญาณที่สูงที่สุด (ดูได้จากค่า Power Delay Profile)

τ_k = เวลาที่เกิดแอมพลิจูดสูงสุดของสัญญาณ

ซึ่งจะแสดงดังต่อไปนี้

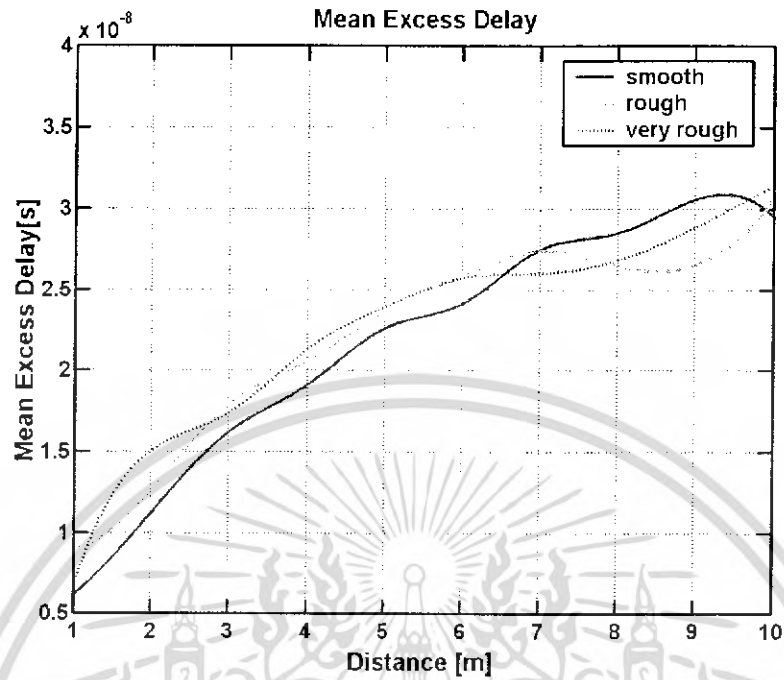


รูปที่ 5.13 ค่า Mean Excess Delay ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศ
ด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง

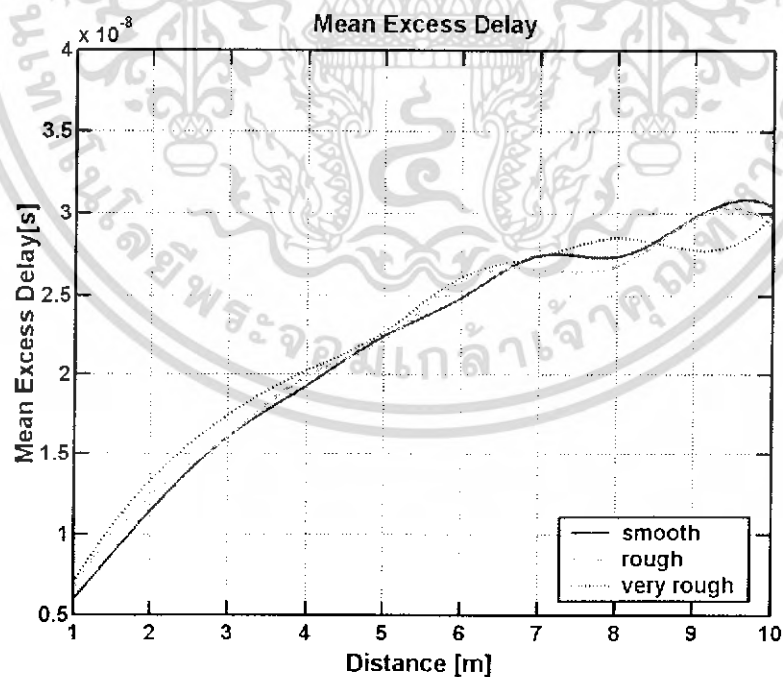


รูปที่ 5.14 ค่า Mean Excess Delay ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 2.2 เมตรและสายอากาศ
ด้านรับเท่ากับ 2.2 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

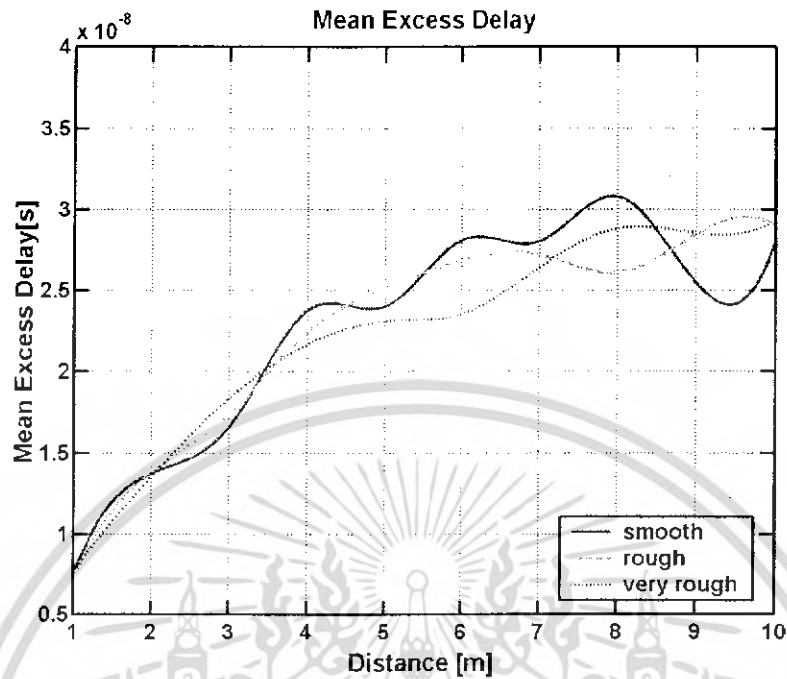


รูปที่ 5.15 ค่า Mean Excess Delay ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศ
ด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน

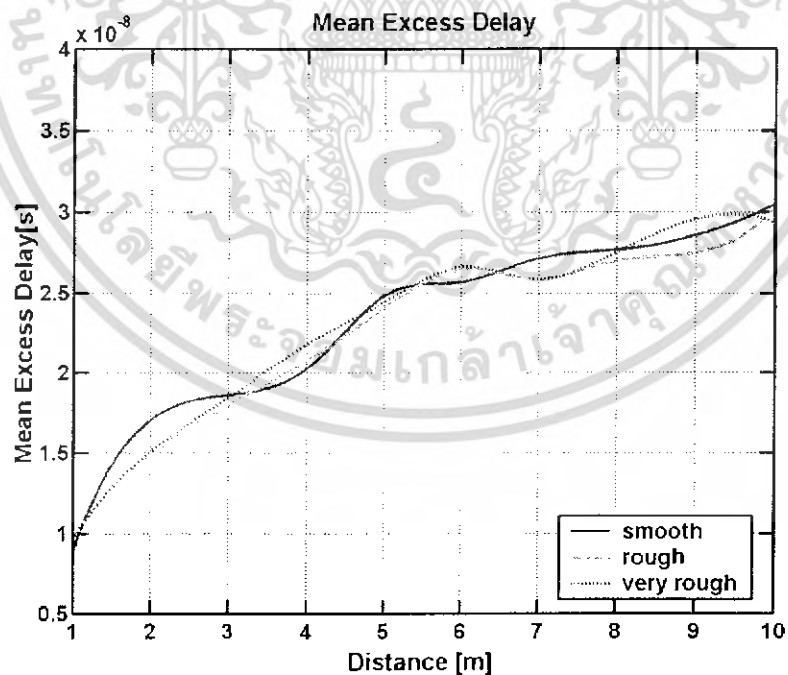


รูปที่ 5.16 ค่า Mean Excess Delay ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 2.2 เมตรและสายอากาศ
ด้านรับเท่ากับ 2.2 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

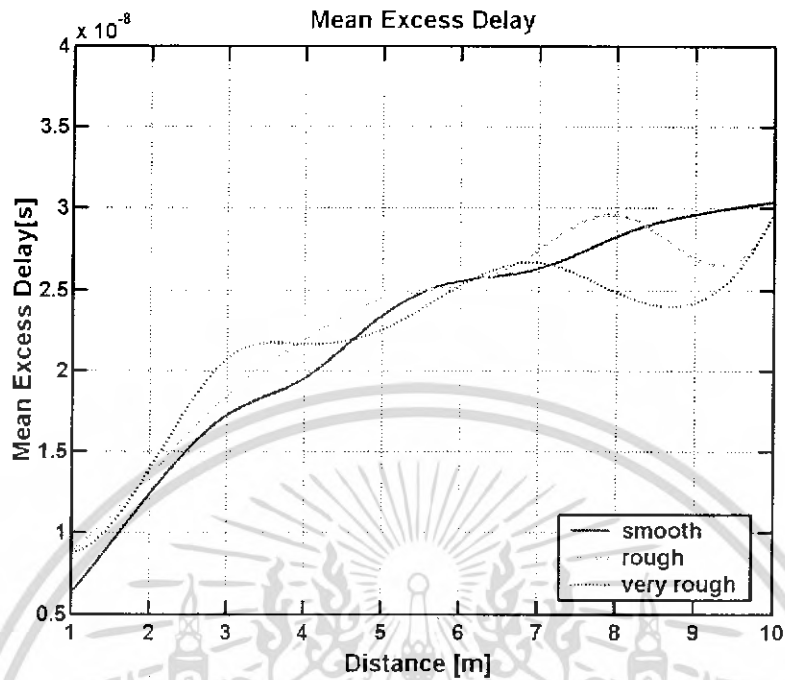


รูปที่ 5.17 ค่า Mean Excess Delay ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.9 เมตรและสายอากาศ
ด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง

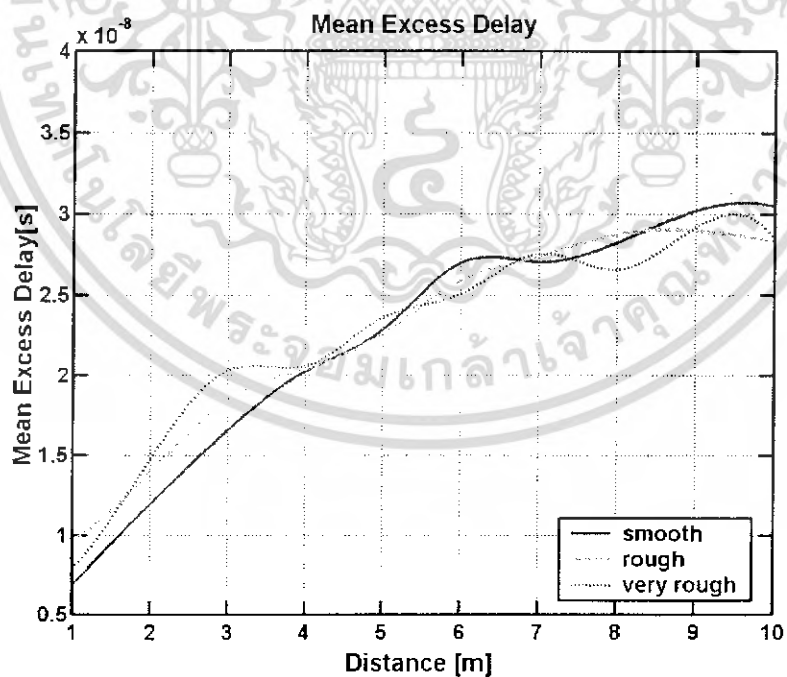


รูปที่ 5.18 ค่า Mean Excess Delay ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 2.2 เมตรและสายอากาศ
ด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

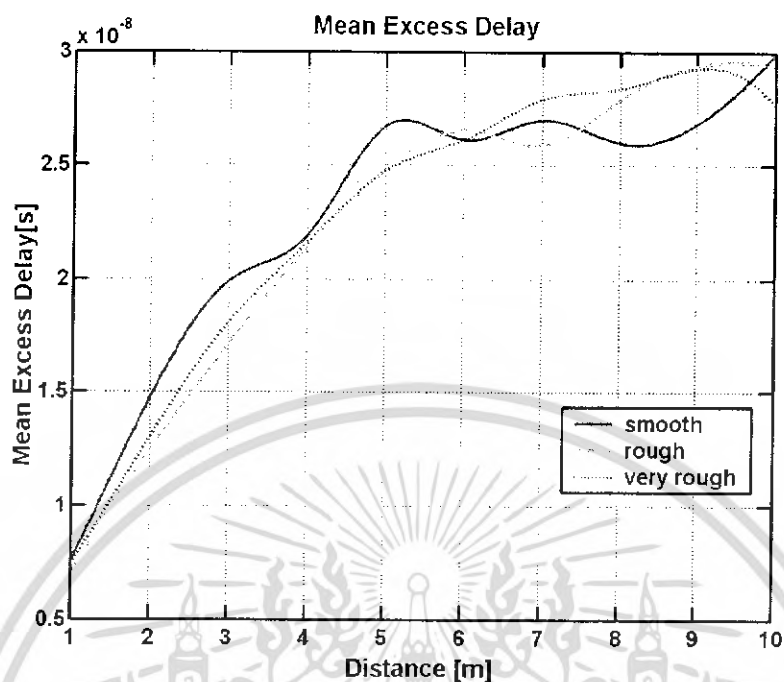


รูปที่ 5.19 ค่า Mean Excess Delay ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.9 เมตรและสายอากาศ
ด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน

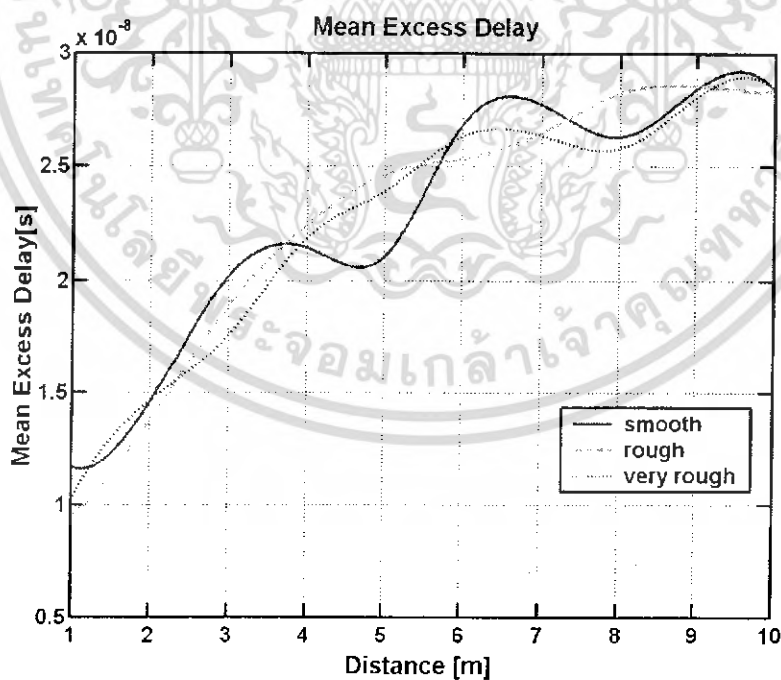


รูปที่ 5.20 ค่า Mean Excess Delay ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 2.2 เมตรและสายอากาศ
ด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

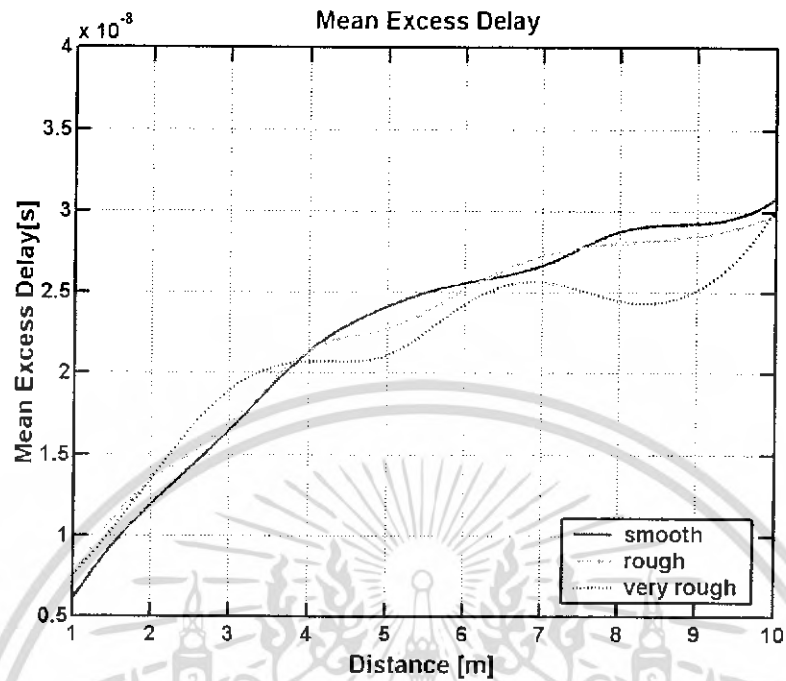


รูปที่ 5.21 ค่า Mean Excess Delay ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศ
ด้านรับเท่ากับ 1.9 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง

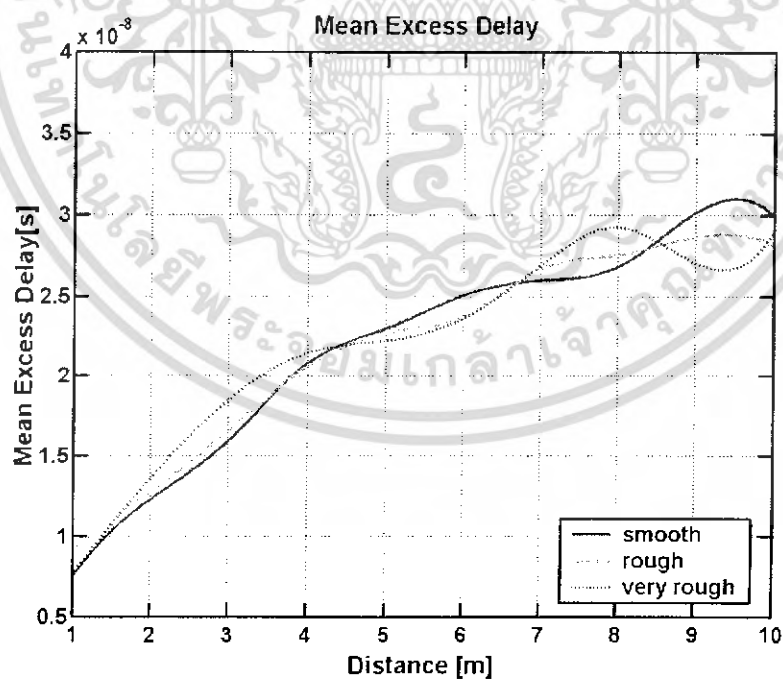


รูปที่ 5.22 ค่า Mean Excess Delay ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศ
ด้านรับเท่ากับ 2.2 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.23 ค่า Mean Excess Delay ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศ
ด้านรับเท่ากับ 1.9 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน



รูปที่ 5.24 ค่า Mean Excess Delay ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศ
ด้านรับเท่ากับ 2.2 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 ค่า Mean Excess Delay (ns) เทียบกับ โมเดลและระยะทางต่างๆ

สายอากาศด้านส่งสูง 1.6 เมตร สายอากาศด้านรับสูง 1.6 เมตร สายอากาศเป็นแบบแนวตั้ง										
ระยะทาง (เมตร)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เรียบ	13	19	17	21	26	26	26	30	28	30
ขรุขระ	6	12	19	22	23	25	25	28	29	29
ขรุขระมาก	6	13	18	22	25	23	27	28	28	29
สายอากาศด้านส่งสูง 1.6 เมตร สายอากาศด้านรับสูง 1.6 เมตร สายอากาศเป็นแบบแนวนอน										
ระยะทาง (เมตร)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เรียบ	6	11	16	19	22	24	27	28	30	29
ขรุขระ	9	12	17	20	23	25	27	26	26	30
ขรุขระมาก	6	15	17	21	23	25	26	26	28	31
สายอากาศด้านส่งสูง 2.2 เมตร สายอากาศด้านรับสูง 2.2 เมตร สายอากาศเป็นแบบแนวนอน										
ระยะทาง (เมตร)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เรียบ	5	11	16	19	22	24	27	27	29	30
ขรุขระ	6	12	16	19	22	25	26	26	29	29
ขรุขระมาก	7	13	17	20	22	26	27	28	27	30
สายอากาศด้านส่งสูง 2.2 เมตร สายอากาศด้านรับสูง 1.6 เมตร สายอากาศเป็นแบบแนวนอน										
ระยะทาง (เมตร)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เรียบ	6	11	16	20	22	27	27	28	30	30
ขรุขระ	9	13	18	20	22	25	27	28	29	28
ขรุขระมาก	7	14	20	20	23	25	27	26	29	28
สายอากาศด้านส่งสูง 1.6 เมตร สายอากาศด้านรับสูง 2.2 เมตร สายอากาศเป็นแบบแนวนอน										
ระยะทาง (เมตร)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เรียบ	7	12	15	20	23	25	25	26	30	29
ขรุขระ	9	12	16	20	22	23	26	27	28	28
ขรุขระมาก	7	13	18	21	22	23	26	29	27	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองจะเห็นว่าค่าของ Mean Excess Delay หรือค่าเฉลี่ย Delay Time ของสัญญาณที่เดินทางมาถึง ถ้าค่าของ Mean Excess Delay มีค่าน้อยแสดงว่าสัญญาณได้มาถึงตัวรับเร็ว แต่ถ้าวค่ามากแสดงว่ามาถึงตัวรับได้ช้า จากผลการทดลองบ่งบอกว่าค่าของ Mean Excess Delay นี้ขึ้นอยู่กับระยะทาง

จะมีลักษณะที่แปรผันตรงซึ่งกันและกัน คือถ้าระยะทางมากขึ้นค่าของ Mean Excess Delay ต้องมากขึ้นตามไปด้วย ถ้าดูค่าจากตารางที่มีพื้นผิวแบบเรียบจะเห็นว่าในทุกกรณีของโมเดลนั้นๆ ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ระยะทางระหว่างสายอากาศด้านส่งและด้านรับที่ 1 เมตร ค่าของ Mean Excess Delay จะอยู่ที่ประมาณ 7 ns และที่ระยะทางระหว่างสายอากาศด้านส่งและด้านรับที่ 10 เมตร ค่าของ Mean Excess Delay จะอยู่ที่ประมาณ 30 ns แต่ในกรณีที่พื้นผิวมีความขรุขระมากขึ้นจากค่าที่ได้ ถ้าเป็นพื้นผิวขรุขระที่เป็นทรายค่าของ Mean Excess Delay จะเพิ่มขึ้นประมาณ 2 ns แล้วที่พื้นผิวขรุขระมากที่เป็นหินค่าของ Mean Excess Delay จะเพิ่มขึ้นประมาณ 4 ns โดยเทียบจากพื้นผิวเรียบ และความสูงของสายอากาศที่เพิ่มขึ้นซึ่งทั้งในกรณีที่ด้านรับและด้านส่งที่เพิ่มขึ้น, สายอากาศด้านส่งสูงกว่าสายอากาศด้านรับและสายอากาศด้านรับสูงกว่าสายอากาศด้านส่ง จะเห็นว่าค่า Mean Excess Delay จะมีการเปลี่ยนแปลงเพียง 1 ns หรืออาจจะบอกได้เลยว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพียงนิดเดียว ส่วนมุมของสายอากาศก็แทบจะไม่มีผลเพราะค่าที่ได้มันทั้งแบบแนวตั้งและแบบแนวนอนใกล้เคียงกัน เพราะฉะนั้นจึงสรุปได้ว่าค่าของ Mean Excess Delay นี้จะขึ้นอยู่กับระยะทางของสายอากาศด้านส่งและด้านรับกับลักษณะของพื้นผิว

5.4 วิเคราะห์และแสดงค่าของ R.M.S Delay Spread ที่ได้จากการทดลอง

การแสดงผลในส่วนนี้จะแสดงค่าของ R.M.S Delay Spread ที่จะแสดงอยู่ในรูปของเวลาเทียบกับระยะทาง โดยใช้รูปแบบของพื้นทั้ง 3 ชนิดคือ พื้นเรียบซึ่งจะเป็นพื้นหินขัด (Smooth) พื้นขรุขระซึ่งจะเป็นพื้นทราย (Rough) และพื้นแบบขรุขระมากเป็นพื้นหิน (Very Rough) เป็นพารามิเตอร์หลักในการทดลอง ซึ่งค่า R.M.S Delay Spread เป็นตัวแปรในช่องสัญญาณมัลติพาร์ทซึ่งสามารถคำนวณหาได้จาก Power Delay Profile โดยค่า R.M.S Delay Spread เป็นช่วงเวลาที่ล่าช้าของสัญญาณที่สะท้อนจากพื้นเป็นสัดส่วนกับพลังงานของพลังงานที่สะท้อนจากพื้น ค่า R.M.S Delay Spread จะคำนวณหาได้จากสมการ

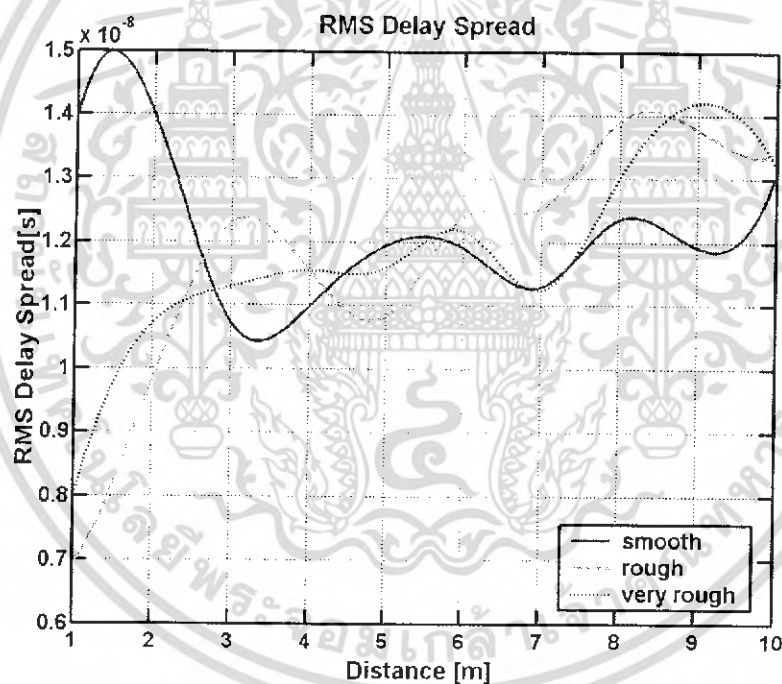
$$\frac{1}{\tau^2} = \frac{\sum_k a_k^2 \tau_k^2}{\sum_k a_k^2} = \frac{\sum_k P(\tau_k) \tau_k^2}{\sum_k P(\tau_k)} \quad (5.3)$$

$$\text{ค่า R.M.S Delay Spread} = \sigma_\tau = \sqrt{\tau^2 - (\bar{\tau})^2} \quad (5.4)$$

a_k = แอมพลิจูดของสัญญาณที่สูงที่สุด(ดูได้จากค่า Power Delay Profile)

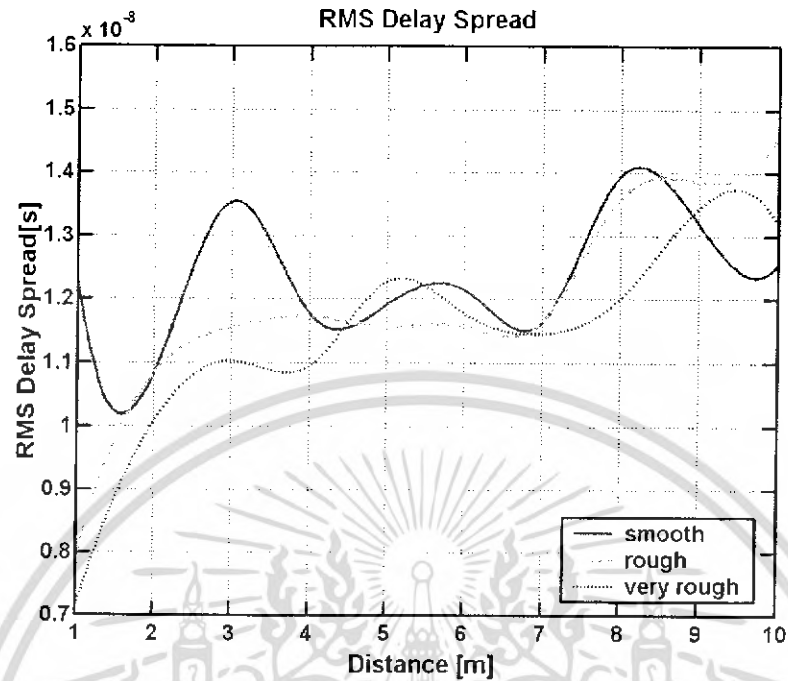
τ_k = เวลาที่เกิดแอมพลิจูดสูงสุดของสัญญาณ

ซึ่งจะแสดงดังต่อไปนี้

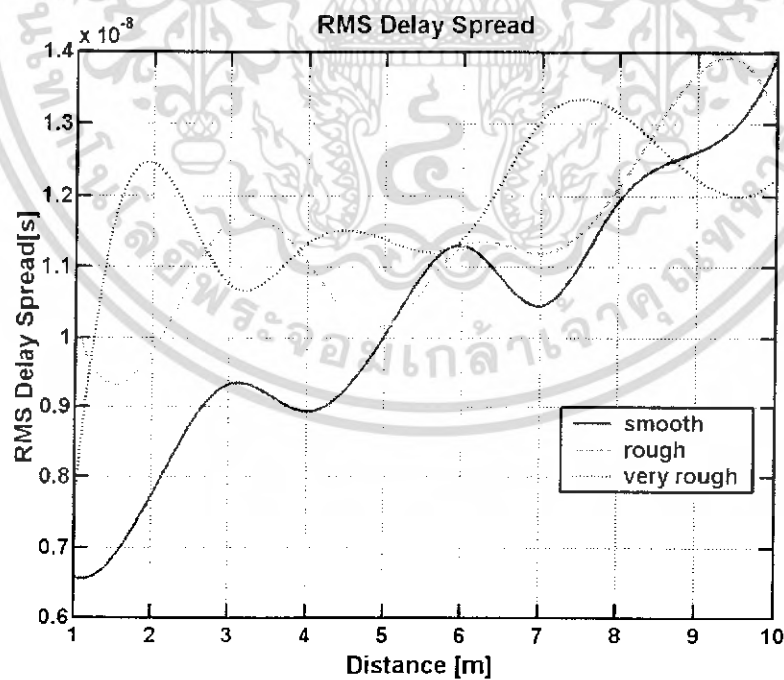


รูปที่ 5.25 ค่า R.M.S Delay Spread ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศ
ด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

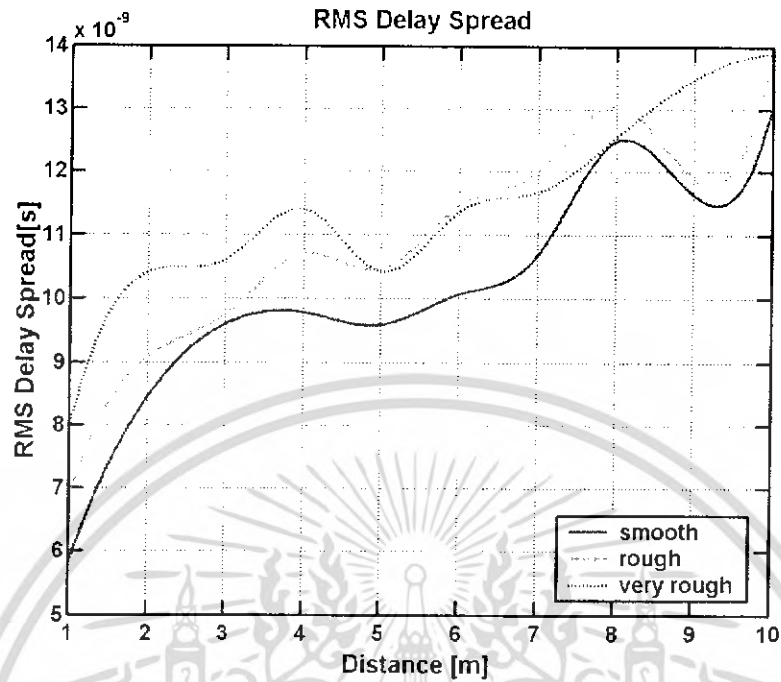


รูปที่ 5.26 ค่า R.M.S Delay Spread ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 2.2 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 2.2 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง

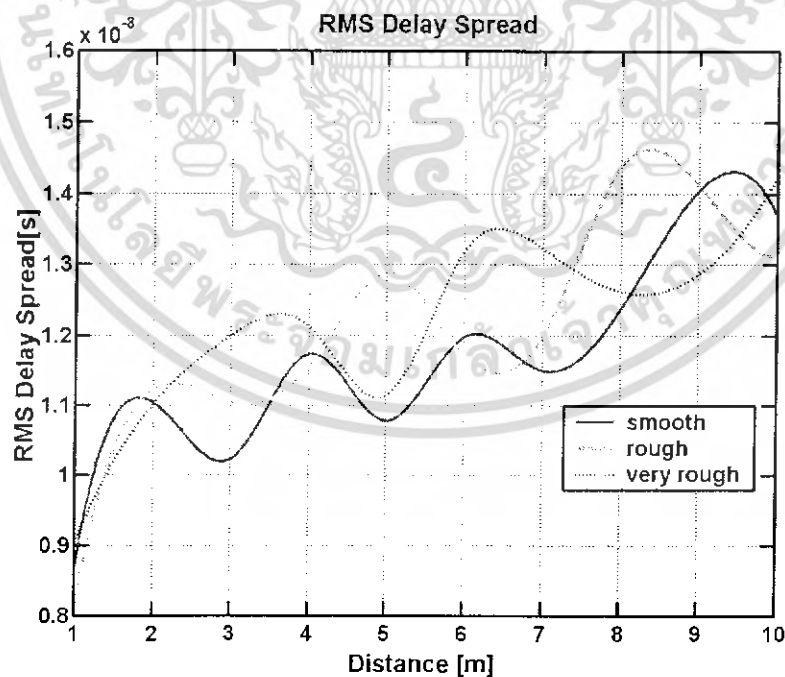


รูปที่ 5.27 ค่า R.M.S Delay Spread ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

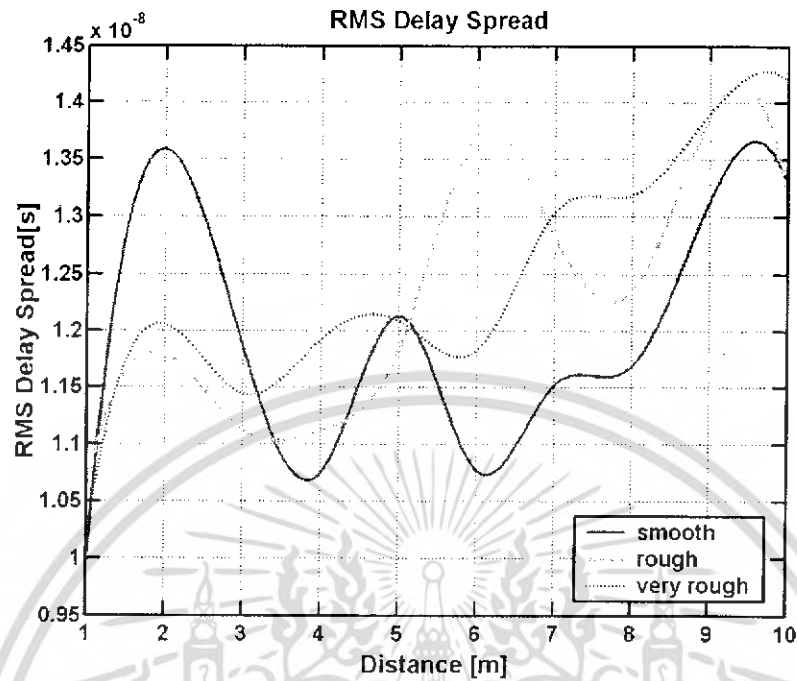


รูปที่ 5.28 ค่า R.M.S Delay Spread ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 2.2 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 2.2 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน

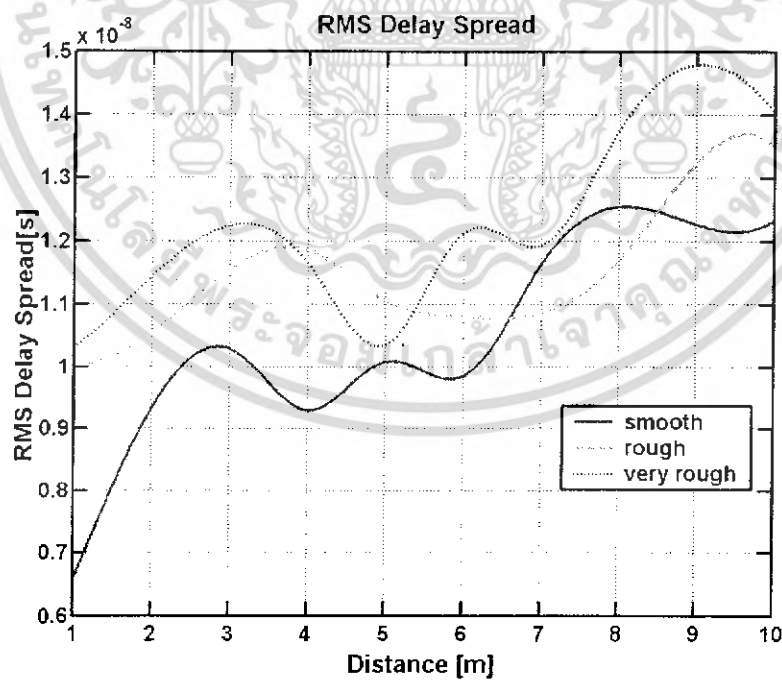


รูปที่ 5.29 ค่า R.M.S Delay Spread ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.9 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

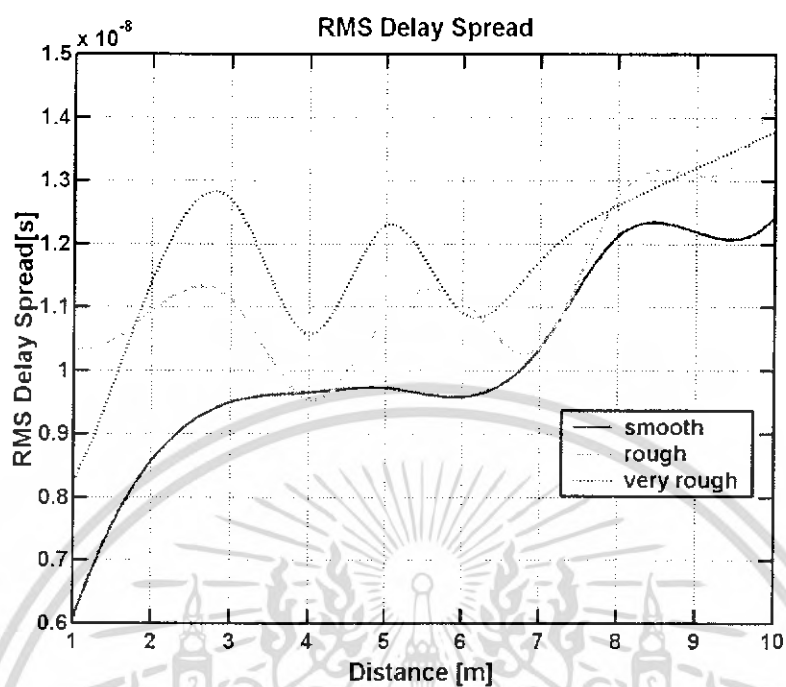


รูปที่ 5.30 ค่า R.M.S Delay Spread ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 2.2 เมตรและสายอากาศ
ด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง

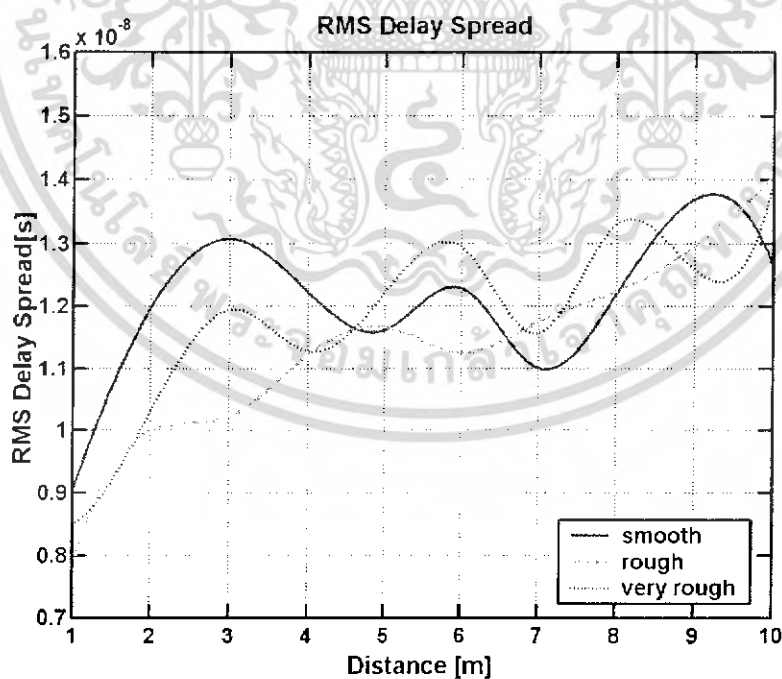


รูปที่ 5.31 ค่า R.M.S Delay Spread ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.9 เมตรและสายอากาศ
ด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

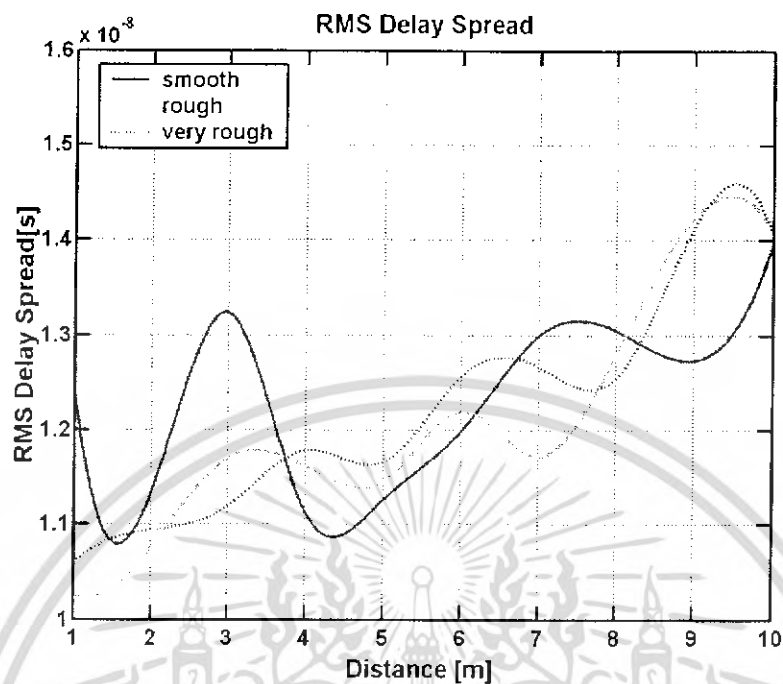


รูปที่ 5.32 ค่า R.M.S Delay Spread ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 2.2 เมตรและสายอากาศ
ด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน

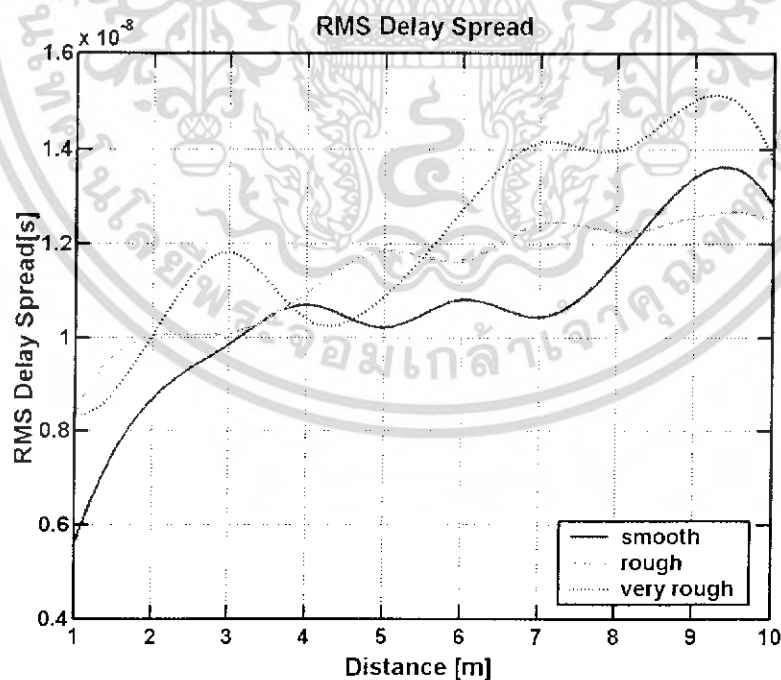


รูปที่ 5.33 ค่า R.M.S Delay Spread ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศ
ด้านรับเท่ากับ 1.9 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

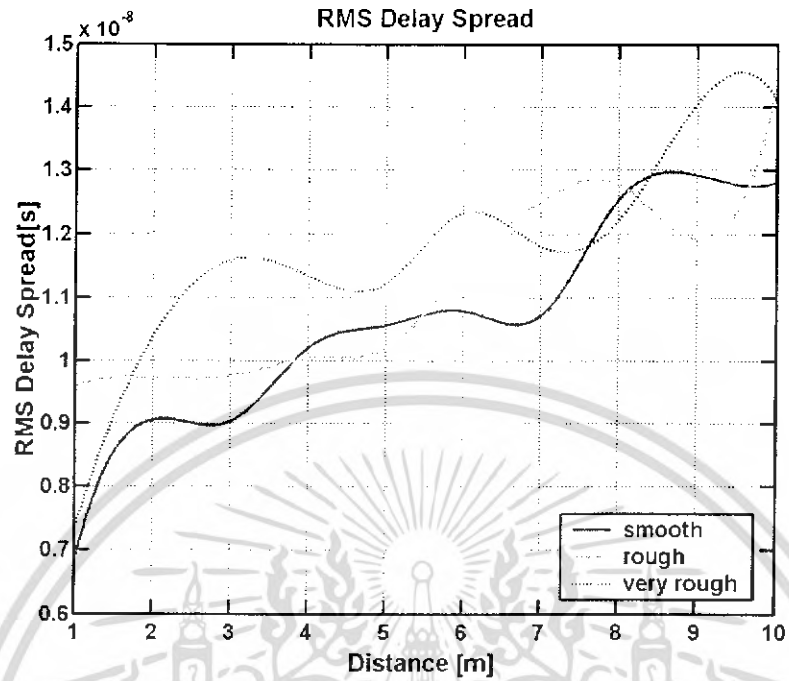


รูปที่ 5.34 ค่า R.M.S Delay Spread ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศ
ด้านรับเท่ากับ 2.2 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง



รูปที่ 5.35 ค่า R.M.S Delay Spread ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศ
ด้านรับเท่ากับ 1.9 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.36 ค่า R.M.S Delay Spread ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศ
ด้านรับเท่ากับ 2.2 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 ค่า R.M.S Delay Spread (ns) เทียบกับโมเดลและระยะทางต่างๆ

สายอากาศด้านส่งสูง 1.6 เมตร สายอากาศด้านรับสูง 1.6 เมตร สายอากาศเป็นแบบแนวตั้ง										
ระยะทาง (เมตร)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เรียบ	13	13	10	10	11	11	11	12	11	13
ขรุขระ	6	9	12	11	10	12	12	13	13	13
ขรุขระมาก	7	10	11	11	11	12	11	13	14	13
สายอากาศด้านส่งสูง 1.6 เมตร สายอากาศด้านรับสูง 1.6 เมตร สายอากาศเป็นแบบแนวนอน										
ระยะทาง (เมตร)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เรียบ	6	7	9	8	10	11	10	11	12	13
ขรุขระ	10	9	11	11	10	11	11	12	13	13
ขรุขระมาก	7	12	10	11	11	11	13	13	12	12
สายอากาศด้านส่งสูง 2.2 เมตร สายอากาศด้านรับสูง 2.2 เมตร สายอากาศเป็นแบบแนวนอน										
ระยะทาง (เมตร)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เรียบ	5	8	9	9	9	10	10	12	11	13
ขรุขระ	6	9	9	10	10	11	12	13	11	13
ขรุขระมาก	7	10	10	11	10	11	11	12	13	13
สายอากาศด้านส่งสูง 2.2 เมตร สายอากาศด้านรับสูง 1.6 เมตร สายอากาศเป็นแบบแนวนอน										
ระยะทาง (เมตร)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เรียบ	6	8	9	9	9	9	10	12	12	12
ขรุขระ	10	10	11	9	10	11	10	12	13	14
ขรุขระมาก	8	11	12	10	12	10	11	12	13	13
สายอากาศด้านส่งสูง 1.6 เมตร สายอากาศด้านรับสูง 2.2 เมตร สายอากาศเป็นแบบแนวนอน										
ระยะทาง (เมตร)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เรียบ	6	9	9	10	10	10	10	12	12	12
ขรุขระ	9	9	9	10	10	11	12	12	11	14
ขรุขระมาก	7	10	11	11	11	12	11	12	14	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลที่ได้เห็นว่าค่าของ R.M.S Delay Spread หรือค่าการแผ่ของสัญญาณที่มาถึงนี้มีลักษณะรูปแบบที่คล้ายกับ Mean Access Delay คือระยะทางที่มากขึ้นจะทำให้ค่าของ R.M.S Delay Spread นี้เพิ่มขึ้นตามไปด้วยแต่จะสังเกตเห็นว่าค่าเวลาของสัญญาณมีการสวิงเป็นอย่างมากทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในระบบจึงทำให้ผลที่ได้ นำมาวิเคราะห์ได้อย่างลำบากจึงสรุปได้อย่างเพียงคร่าวๆว่าค่าของ R.M.S Delay Spread จะขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างสายอากาศ ด้านส่งและด้านรับและอีกส่วนหนึ่งที่มีผลต่อค่า R.M.S Delay Spread ก็คือลักษณะพื้นผิวถ้าพื้นผิวมีความขรุขระมากขึ้นจะทำให้ค่าของ R.M.S Delay Spread มากขึ้นตามไปด้วย แต่ในกรณีที่ความสูงของสายอากาศที่เพิ่มขึ้นกลับทำให้ค่าของ R.M.S Delay Spread ลดลง ทั้งนี้เป็นเพราะขนาดของกำลังงานของสัญญาณที่สะท้อนจากพื้นผิวมากกว่าการล่าช้าของสัญญาณ ทั้งนี้เพราะความสูงของสายอากาศที่เพิ่มขึ้น ค่าการล่าช้าของสัญญาณต้องมากขึ้นด้วยแต่ค่า R.M.S Delay Spread กลับลดลง

5.5 วิเคราะห์และแสดงค่าของ Correlation Coefficient ที่ได้จากทดลอง

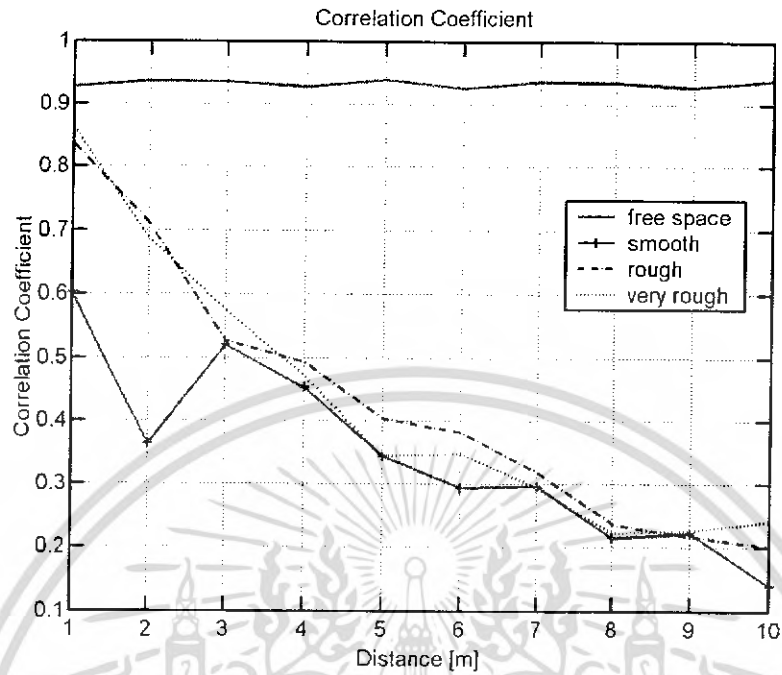
ค่า Correlation Coefficient คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่จะใช้หาถึงความผิดพลาดของสัญญาณ ซึ่งจะแสดงอยู่ในรูปผลของสัญญาณอินพุตแบบ Rectangular Pass Band ที่นำมา Correlation เปรียบเทียบระยะทาง โดยใช้รูปแบบของพื้นทั้ง 3 ชนิดคือ พื้นเรียบซึ่งจะเป็นพื้นหินขัด (Smooth) พื้นขรุขระซึ่งจะเป็นพื้นทราย (Rough) และพื้นแบบขรุขระมากเป็นพื้นหิน (Very Rough) เป็นพารามิเตอร์หลักในการทดลอง ซึ่งค่าที่ได้ออกมาจะนำไปหาค่าความผิดพลาดของสัญญาณ ซึ่งค่าของ Correlation ที่เท่ากับ 1 จะถือว่ามีความผิดพลาดของสัญญาณน้อยที่สุดหรือจะเรียกว่าดีที่สุดสุดเลยก็เป็นได้ ซึ่งค่าของ Correlation coefficient จะคำนวณได้จาก

Correlation coefficient

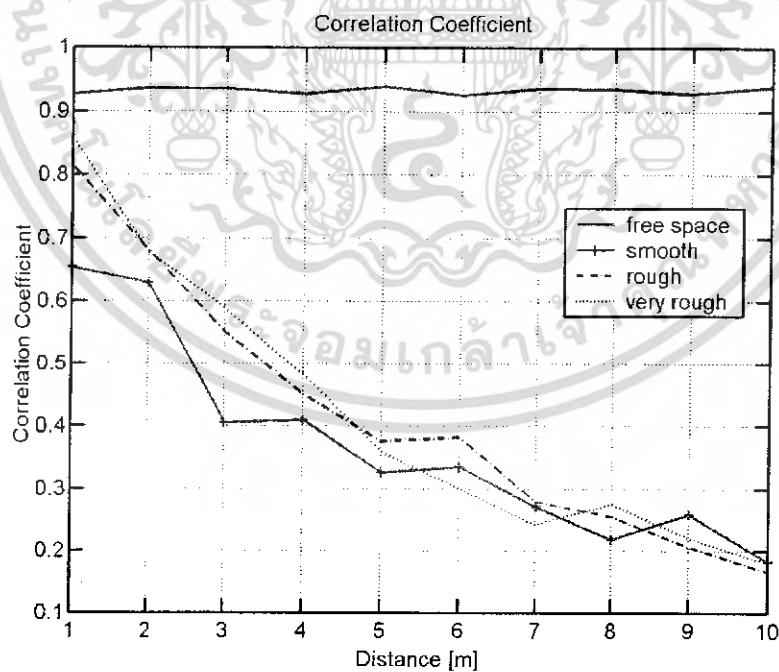
$$\max_{-\infty}^{\infty} \left| \int V_i^*(t) \cdot V_r(t+\tau) dt \right| \quad (5.5)$$

$$= \frac{\max_{-\infty}^{\infty} \left| \int V_i^*(t) \cdot V_i(t+\tau) dt \right| \cdot \max_{-\infty}^{\infty} \left| \int V_r^*(t) \cdot V_r(t+\tau) dt \right|}{\sqrt{\left(\max_{-\infty}^{\infty} \left| \int V_i^*(t) \cdot V_i(t+\tau) dt \right| \cdot \max_{-\infty}^{\infty} \left| \int V_r^*(t) \cdot V_r(t+\tau) dt \right| \right)}}$$

จะแสดงดังต่อไปนี้

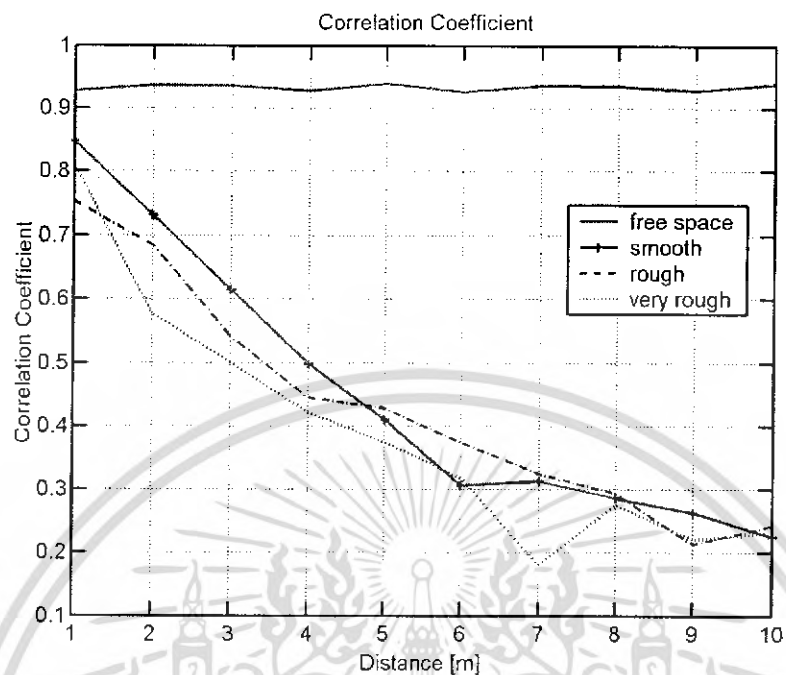


รูปที่ 5.37 ค่า Correlation Coefficient ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง

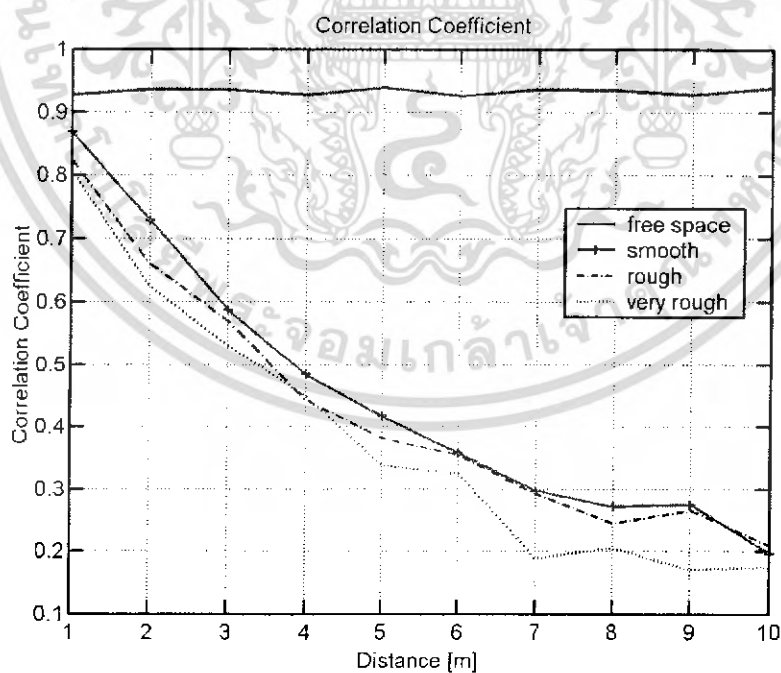


รูปที่ 5.38 ค่า Correlation Coefficient ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 2.2 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 2.2 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

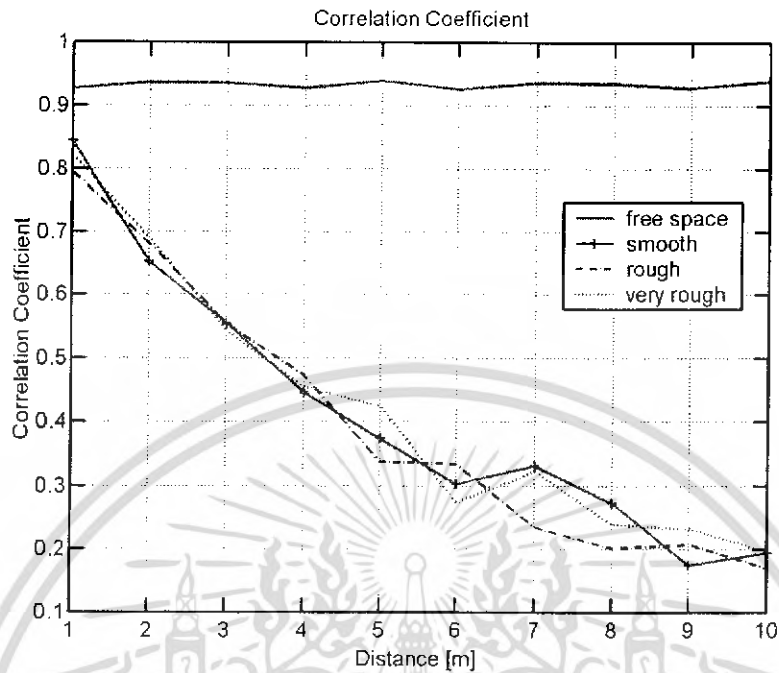


รูปที่ 5.39 ค่า Correlation Coefficient ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน

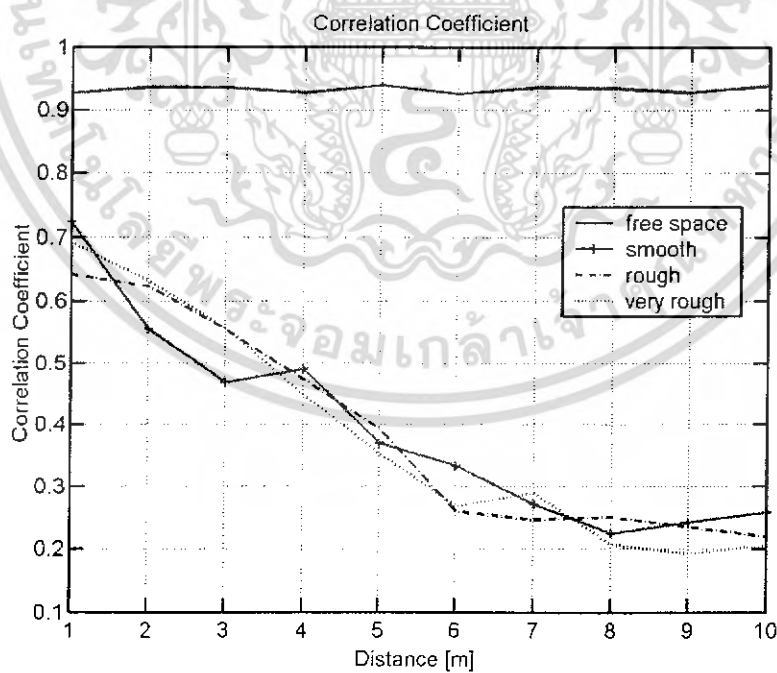


รูปที่ 5.40 ค่า Correlation Coefficient ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 2.2 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 2.2 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

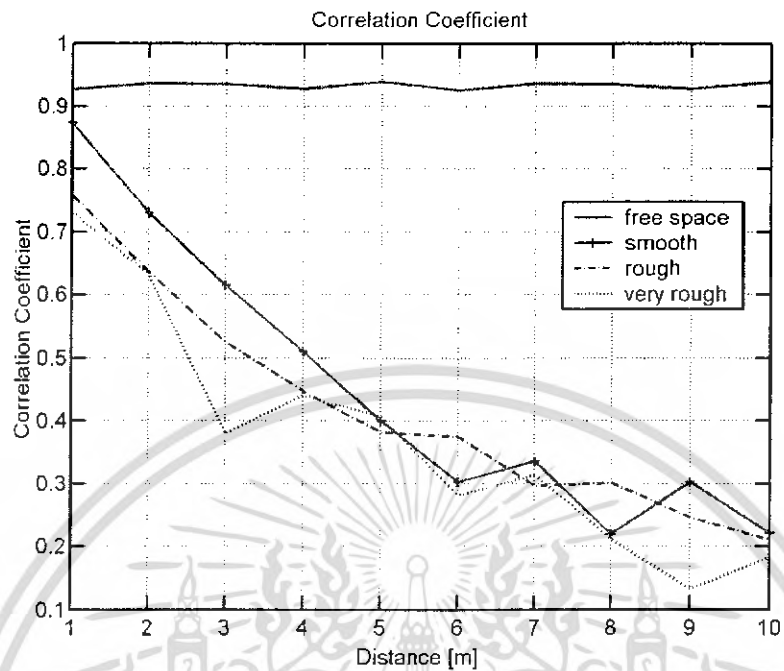


รูปที่ 5.41 ค่า Correlation Coefficient ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.9 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง

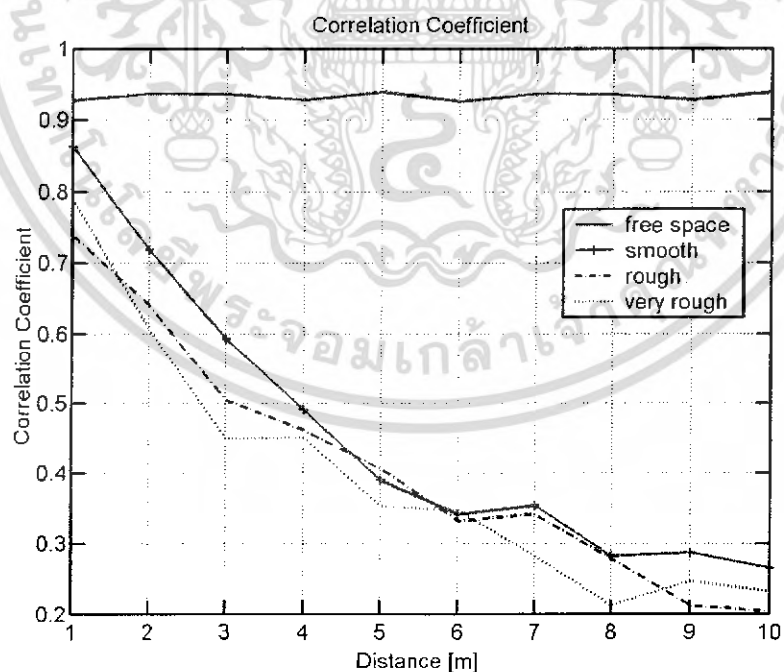


รูปที่ 5.42 ค่า Correlation Coefficient ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 2.2 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

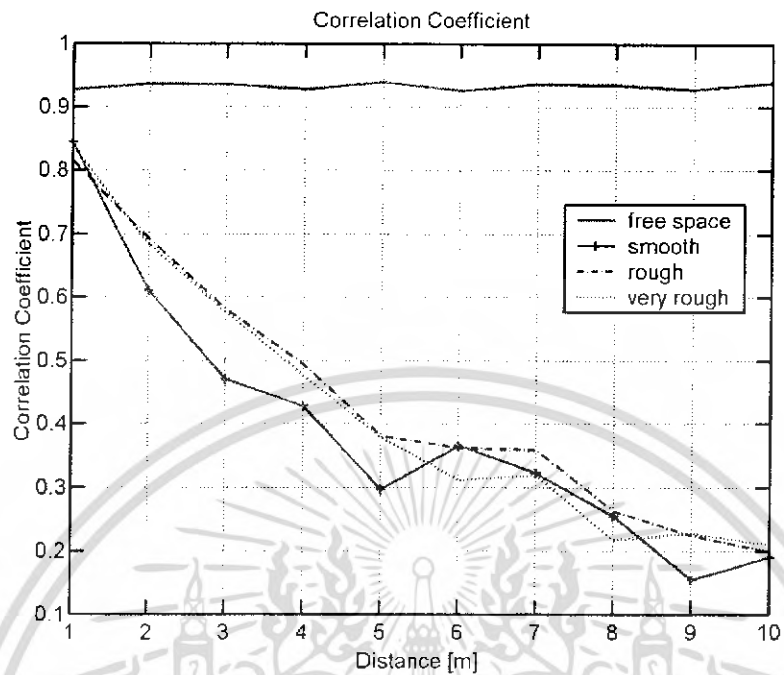


รูปที่ 5.43 ค่า Correlation Coefficient ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.9 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน

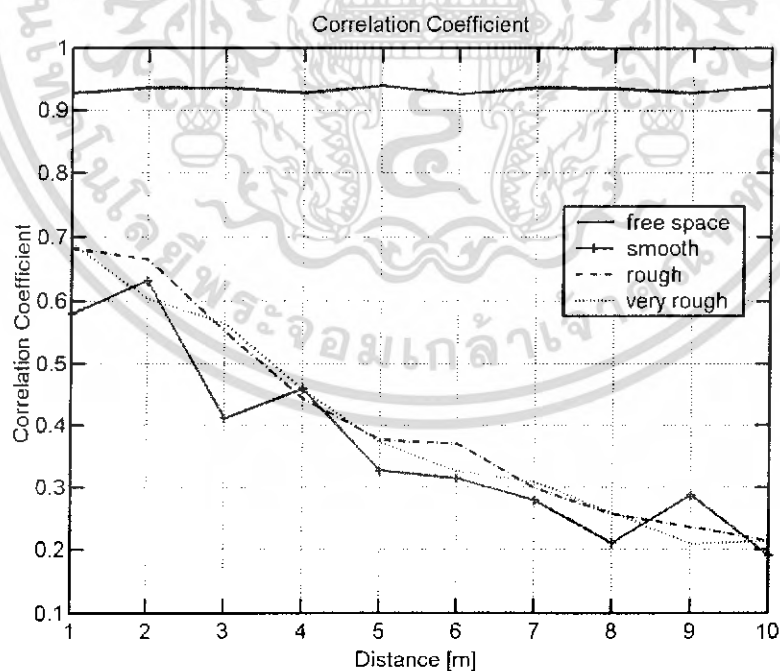


รูปที่ 5.44 ค่า Correlation Coefficient ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 2.2 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

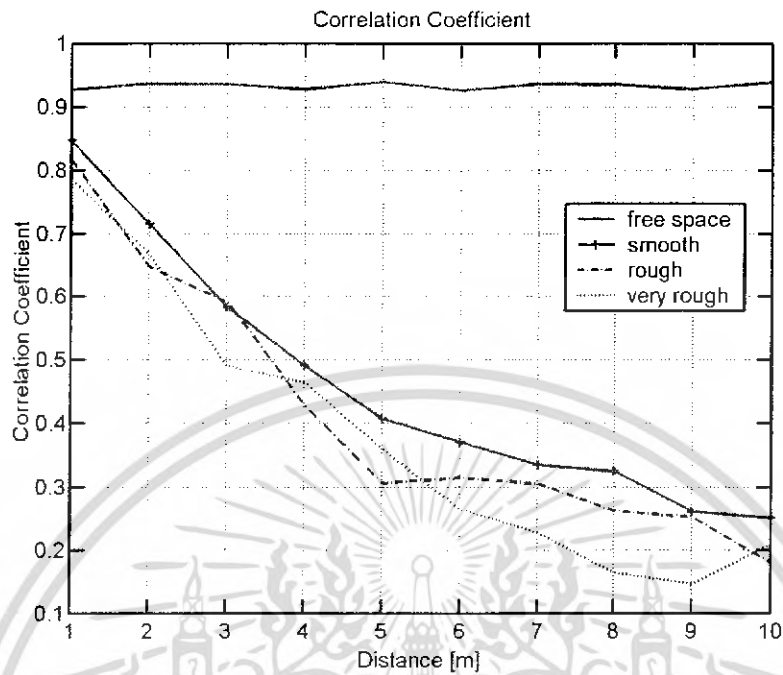


รูปที่ 5.45 ค่า Correlation Coefficient ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.9 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง

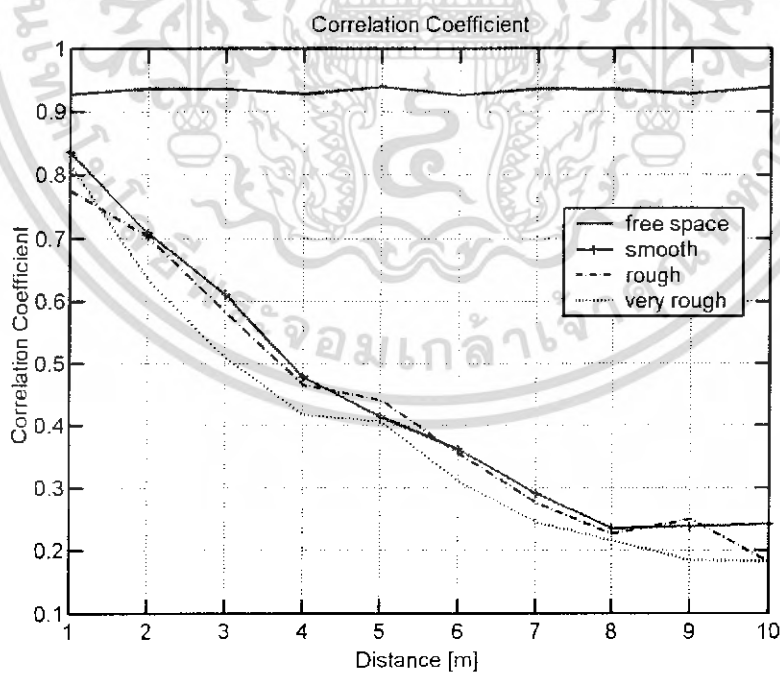


รูปที่ 5.46 ค่า Correlation Coefficient ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 2.2 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.47 ค่า Correlation Coefficient ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.9 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน



รูปที่ 5.48 ค่า Correlation Coefficient ที่ความสูงของสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 2.2 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 ค่า Correlation Coefficient เทียบกับ โมเดลและระยะทางต่างๆ

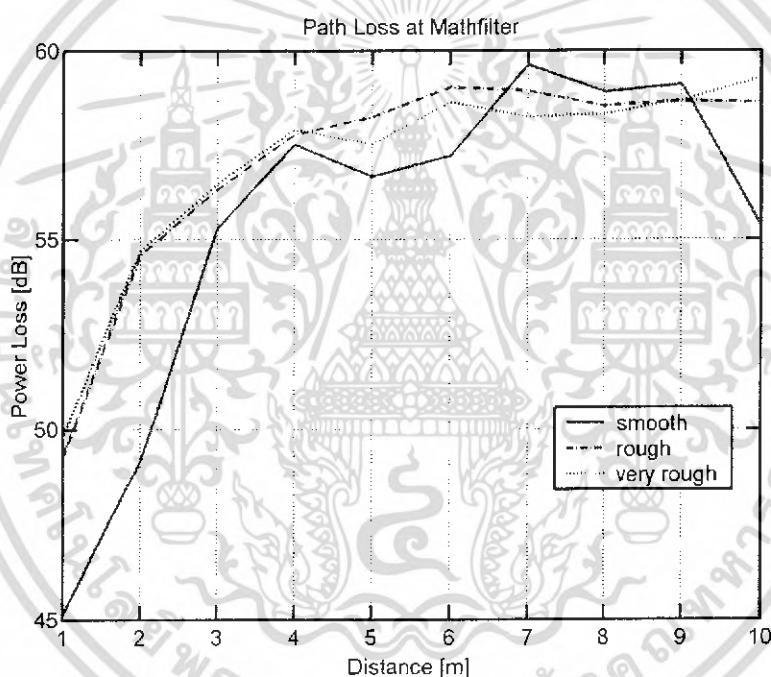
สายอากาศด้านส่งสูง 1.6 เมตร สายอากาศด้านรับสูง 1.6 เมตร สายอากาศเป็นแบบแนวตั้ง										
ระยะทาง (เมตร)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เรียบ	0.6	0.4	0.5	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1
ขรุขระ	0.8	0.7	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2
ขรุขระมาก	0.8	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2
สายอากาศด้านส่งสูง 1.6 เมตร สายอากาศด้านรับสูง 1.6 เมตร สายอากาศเป็นแบบแนวนอน										
ระยะทาง (เมตร)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เรียบ	0.8	0.7	0.6	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2
ขรุขระ	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2
ขรุขระมาก	0.8	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.1	0.2	0.2	0.2
สายอากาศด้านส่งสูง 2.2 เมตร สายอากาศด้านรับสูง 2.2 เมตร สายอากาศเป็นแบบแนวนอน										
ระยะทาง (เมตร)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เรียบ	0.8	0.7	0.5	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1
ขรุขระ	0.8	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2
ขรุขระมาก	0.8	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.1	0.2	0.1	0.1
สายอากาศด้านส่งสูง 2.2 เมตร สายอากาศด้านรับสูง 1.6 เมตร สายอากาศเป็นแบบแนวนอน										
ระยะทาง (เมตร)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เรียบ	0.8	0.7	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2
ขรุขระ	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2
ขรุขระมาก	0.7	0.6	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2
สายอากาศด้านส่งสูง 1.6 เมตร สายอากาศด้านรับสูง 2.2 เมตร สายอากาศเป็นแบบแนวนอน										
ระยะทาง (เมตร)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เรียบ	0.8	0.7	0.6	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2
ขรุขระ	0.7	0.7	0.5	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1
ขรุขระมาก	0.8	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

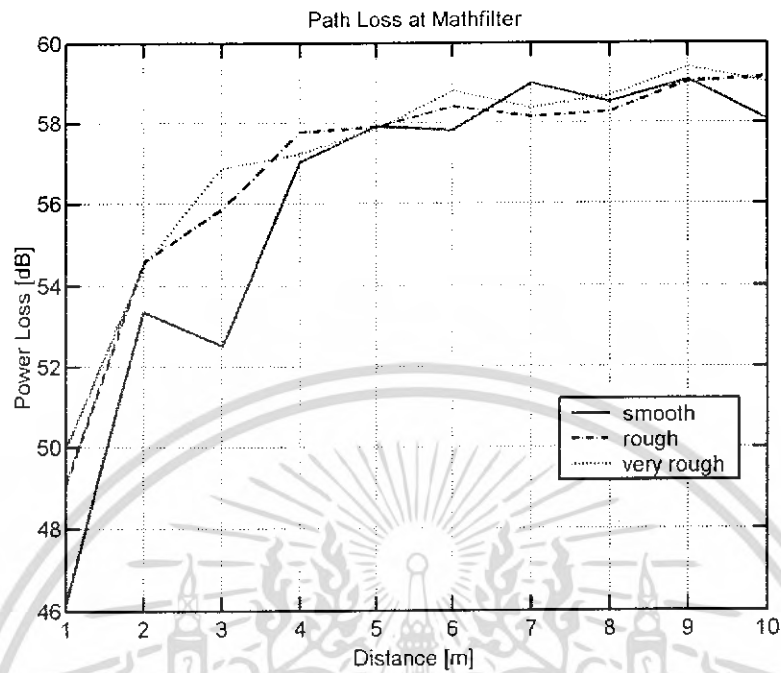
จะเห็นได้ว่าค่าของ Correlation Coefficient ที่ใกล้กับ 1 จะเป็นค่าที่มี Distortion น้อยที่สุดในรูปจะเห็นว่าค่าของ Correlation Coefficient จะมีลักษณะที่แปรผกผันกันอยู่กับระยะทางคือที่ระยะทางมากขึ้นค่าของ Correlation Coefficient จะน้อยลงซึ่งแสดงว่า จะมีค่ามากขึ้นเมื่อระยะทางมากขึ้น ก็แสดงได้โดยที่ระยะทางมากขึ้นค่าของ Distortion ก็มากขึ้นตามไปด้วย จากตารางที่แสดงผลของ Correlation Coefficient ที่ลักษณะของพื้นรูปแบบต่างๆ และในทุกโมเดล ถ้าเปรียบเทียบค่าในกรณีพื้นผิวต่างกันพบว่าที่ระยะห่าง 1 เมตร ค่าของ Correlation Coefficient จะมีค่าที่มากกว่าค่า Correlation Coefficient ของพื้นผิวแบบขรุขระและขรุขระมาก อยู่ประมาณ 0.05 และ 0.1 ตามลำดับ เพราะฉะนั้นก็แสดงได้ว่าค่า Distortion ที่เกิดจากพื้นผิวขรุขระมากจะมีค่าสูงที่สุด ส่วนพื้นผิวแบบขรุขระจะมีค่าที่น้อยกว่าพื้นผิวแบบขรุขระมาก และในกรณีที่สายอากาศด้านส่งสูงกว่าสายอากาศด้านรับ โดยที่ในทุกลักษณะพื้นผิวมีผลทำให้ค่า Correlation Coefficient ของพื้นผิวเรียบลดลงเล็กน้อยแต่ในกรณีที่เป็นพื้นผิวแบบขรุขระและขรุขระมากจะเห็นได้ว่าค่าของ Correlation Coefficient ลดลงอย่างชัดเจน และถ้าในกรณีที่ความสูงของสายอากาศด้านรับสูงกว่าสายอากาศด้านส่ง ก็จะมีผลลัพธ์ที่เหมือนกับในกรณีที่ สายอากาศด้านส่งสูงกว่าสายอากาศด้านรับ เพราะฉะนั้นปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อค่า Correlation Coefficient คือระยะห่างระหว่างสายอากาศด้านรับและสายอากาศด้านส่ง, ลักษณะรูปแบบของพื้นผิวในรูปแบบต่างๆ และความสูงของสายอากาศด้านรับและสายอากาศด้านส่งในกรณีที่ความสูงต่างกัน

5.6 แสดงค่าของสัญญาณที่ผ่าน Matched Filter ที่ได้จากทดลอง

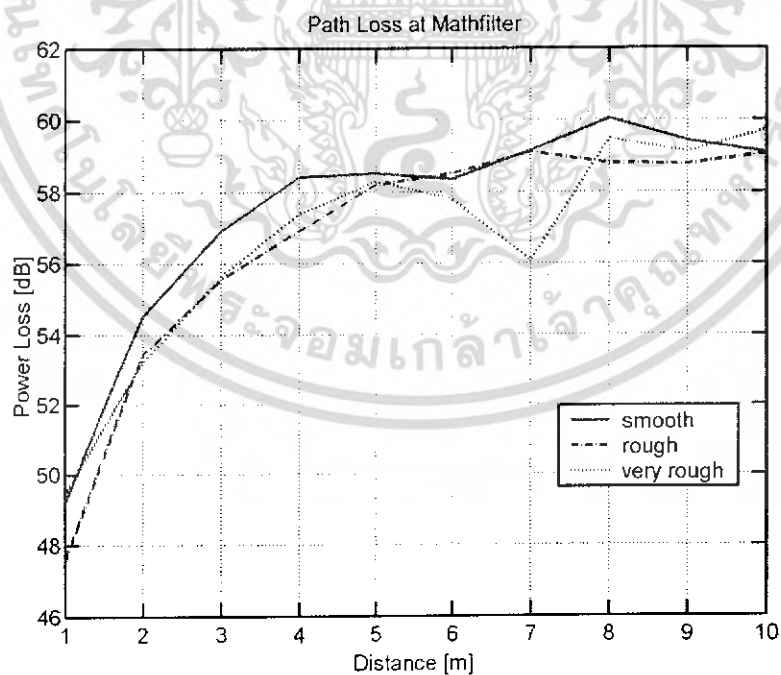
ค่าที่จะแสดงในหัวข้อนี้เป็นการนำเอา Matched Filter มาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณด้านรับหรือปรับปรุง Signal to noise ratio (SNR) โดยที่ทฤษฎีของ Matched Filter นี้สามารถดูได้จากทฤษฎีในบทที่ 2 ซึ่งค่าที่แสดงในหัวข้อนี้จะแสดงค่าของสัญญาณที่ผ่าน Matched Filter ซึ่งจะอยู่ในรูปของ Path Loss โดยใช้รูปแบบของพื้นที่ทั้ง 3 ชนิดคือ พื้นเรียบซึ่งจะเป็นพื้นหินขัด (Smooth) พื้นขรุขระซึ่งจะเป็นพื้นทราย (Rough) และพื้นแบบขรุขระมากเป็นพื้นหิน (Very Rough) เป็นพารามิเตอร์หลักในการทดลองที่ระยะห่างของสายอากาศด้านส่งและด้านรับตั้งแต่ 1 เมตรถึง 10 เมตร จะแสดงดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.49 ค่า Path loss ของสัญญาณ ที่ผ่านเข้าไปใน Matched filter ที่ความสูงสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง

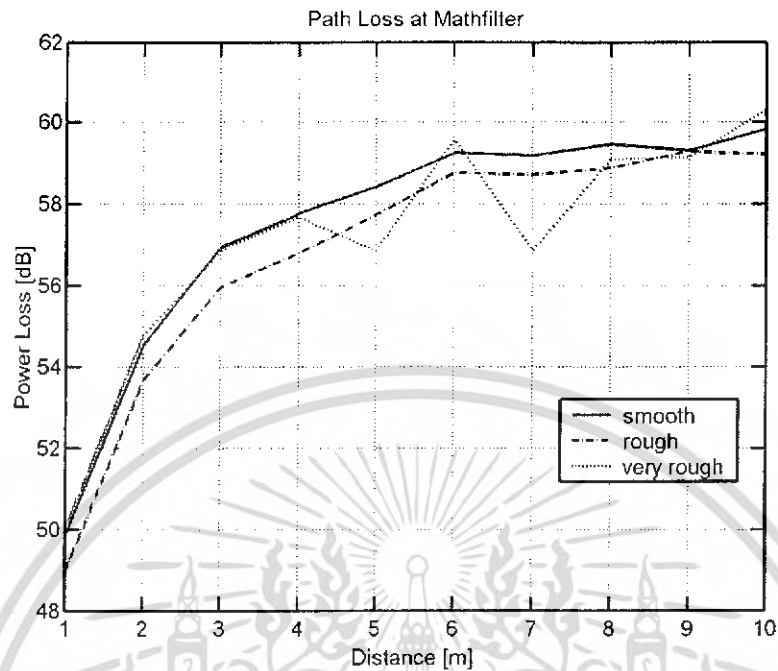


รูปที่ 5.50 ค่า Path loss ของสัญญาณ ที่ผ่านเข้าไปใน Matched filter ที่ความสูงสายอากาศด้านส่ง เท่ากับ 2.2 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 2.2 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง

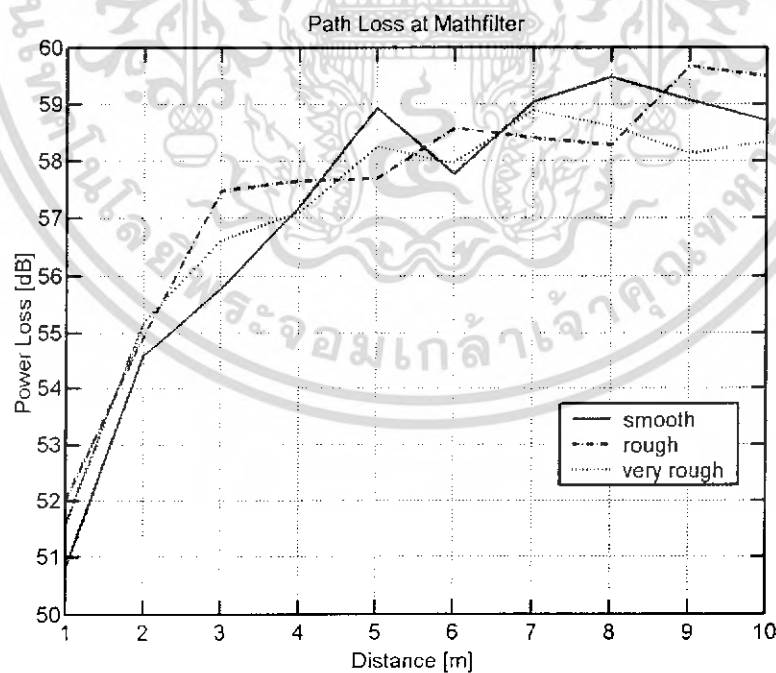


รูปที่ 5.51 ค่า Path loss ของสัญญาณ ที่ผ่านเข้าไปใน Matched filter ที่ความสูงสายอากาศด้านส่ง

เท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

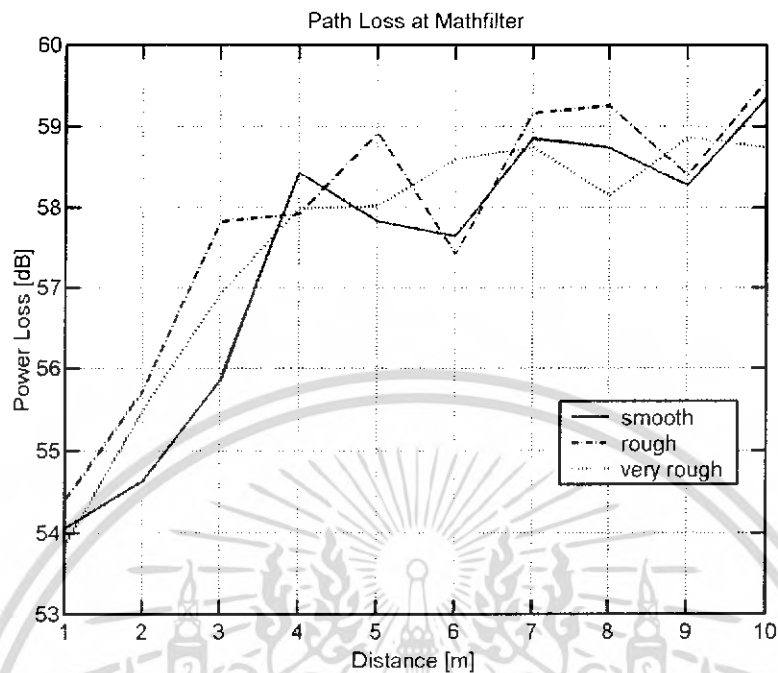


รูปที่ 5.52 ค่า Path loss ของสัญญาณ ที่ผ่านเข้าไปใน Matched filter ที่ความสูงสายอากาศด้านส่ง เท่ากับ 2.2 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 2.2 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน

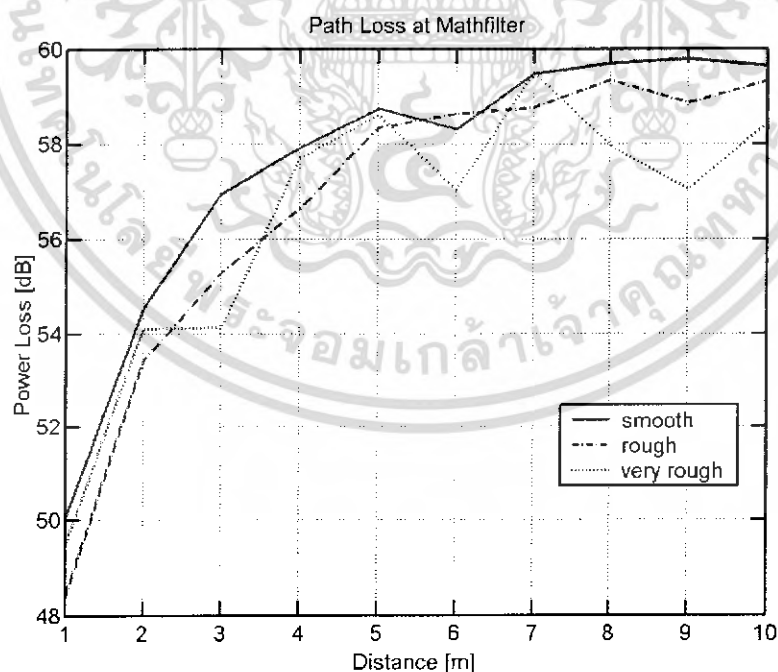


รูปที่ 5.53 ค่า Path loss ของสัญญาณที่ผ่านเข้าไปใน Matched filter ที่ความสูงสายอากาศด้านส่ง เท่ากับ 1.9 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง

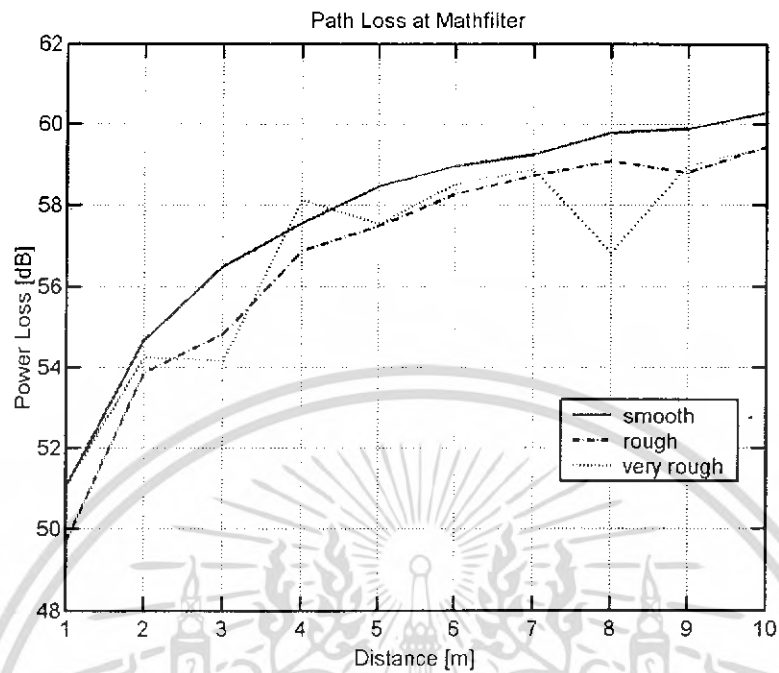
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



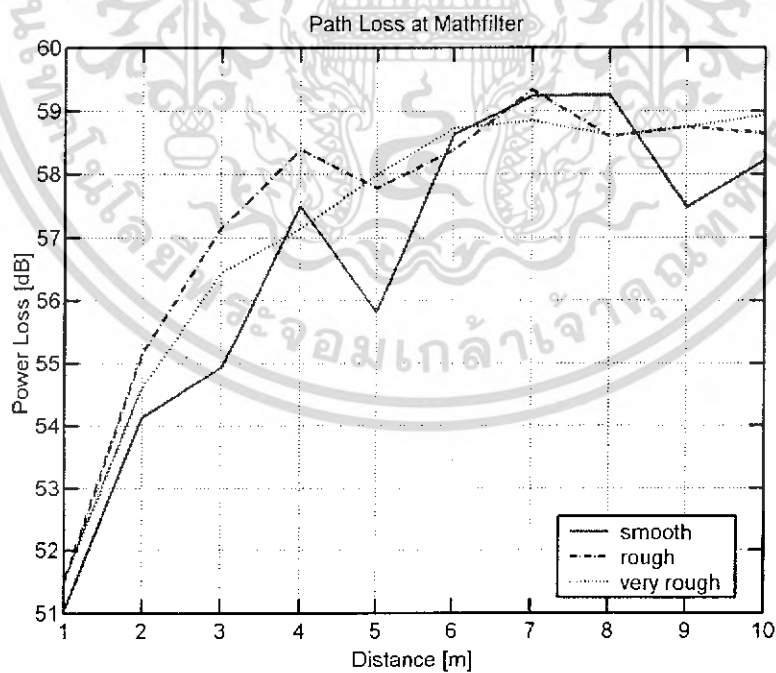
รูปที่ 5.54 ค่า Path loss ของสัญญาณที่ผ่านเข้าไปใน Matched filter ที่ความสูงสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 2.2 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง



รูปที่ 5.55 ค่า Path loss ของสัญญาณที่ผ่านเข้าไปใน Matched filter ที่ความสูงสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 1.9 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



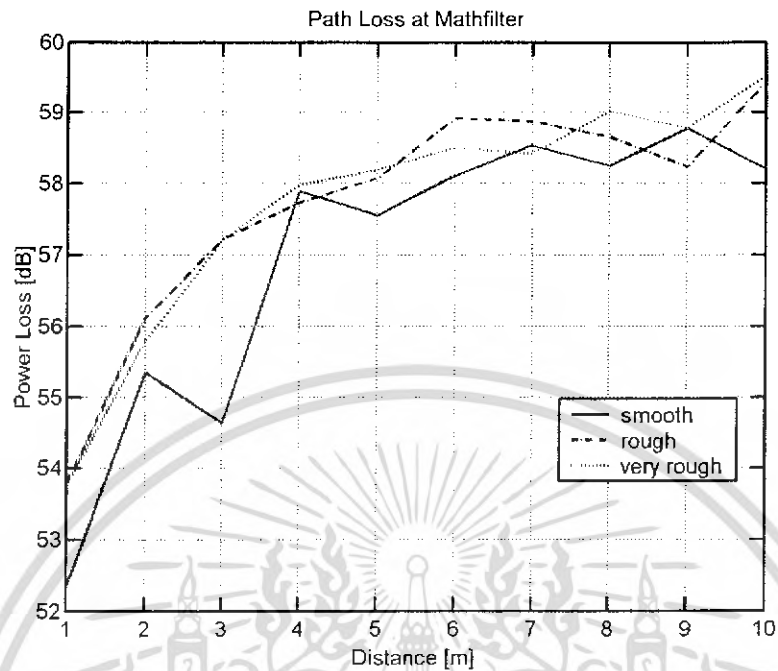
รูปที่ 5.56 ค่า Path loss ของสัญญาณที่ผ่านเข้าไปใน Matched filter ที่ความสูงสายอากาศด้านส่งเท่ากับ 2.2 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.6 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน



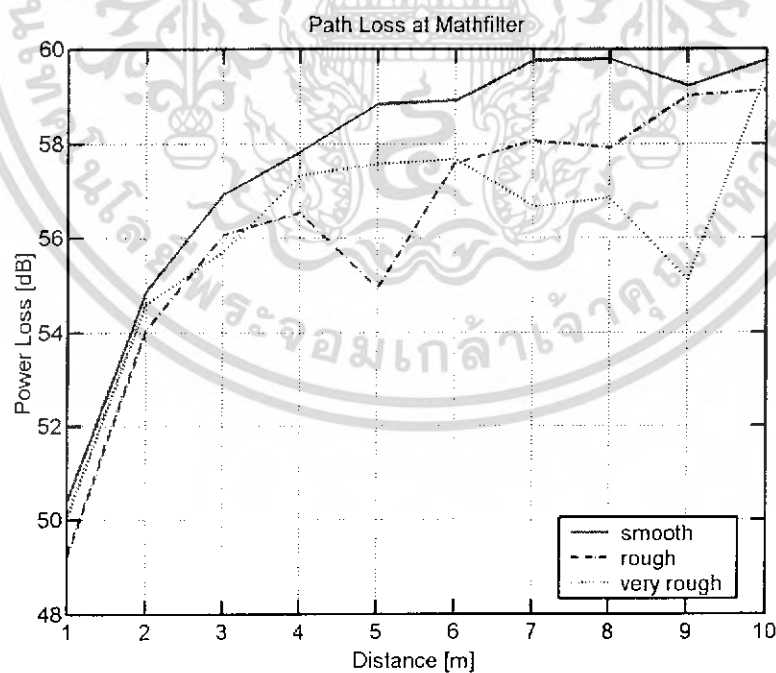
รูปที่ 5.57 ค่า Path loss ของสัญญาณที่ผ่านเข้าไปใน Matched filter ที่ความสูงสายอากาศด้านส่ง

เท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.9 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



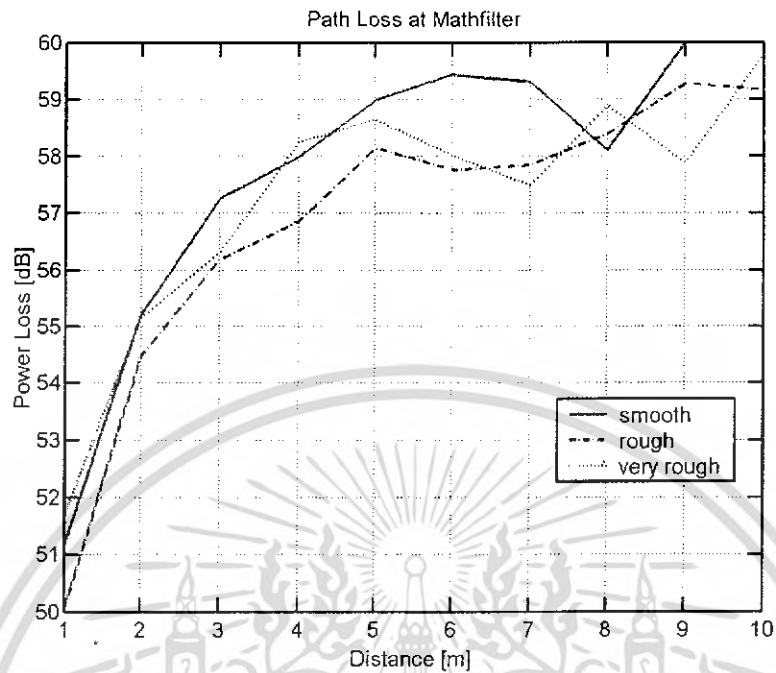
รูปที่ 5.58 ค่า Path loss ของสัญญาณ ที่ผ่านเข้าไปใน Matched filter ที่ความสูงสายอากาศด้านส่ง เท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 2.2 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวตั้ง



รูปที่ 5.59 ค่า Path loss ของสัญญาณที่ผ่านเข้าไปใน Matched filter ที่ความสูงสายอากาศด้านส่ง

เท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 1.9 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.60 ค่า Path loss ของสัญญาณที่ผ่านเข้าไปใน Matched filter ที่ความสูงสายอากาศด้านส่ง เท่ากับ 1.6 เมตรและสายอากาศด้านรับเท่ากับ 2.2 เมตร และมุมของสายอากาศแบบแนวนอน

จากสัญญาณที่ Optimum ที่แสดงอยู่ในรูป Path Loss จะเห็นว่าถ้านำไปเปรียบเทียบกับค่า Path Loss ในตอนที่ 5.2 แล้วจะพบว่าค่าของ Path Loss จะลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจนมากเพราะค่าของกำลังมีค่าที่สูงขึ้น เพราะฉะนั้นจึงสรุปได้ว่าในการสื่อสารแบบ Ultra-Wideband ถ้าต้องการให้ระดับกำลังของสัญญาณที่ด้านรับมีระดับที่สูงขึ้นและถ้าต้องการให้ค่า SNR สูงขึ้น ควรที่จะใช้ Matched Filter ในการปรับปรุงระดับของสัญญาณ

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและแนวทางในการพัฒนา

ปริณญาณิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการศึกษาทดลอง, การวิเคราะห์และหาผลสรุปที่เกิดจากการสะท้อนของคลื่นของช่องสัญญาณ ในการสื่อสารแบบ Ultra-Wideband (UWB) ที่มีผลต่อสภาพพื้นผิวในลักษณะต่างๆ โดยที่การสื่อสารแบบ Ultra-Wideband (UWB) เป็นการสื่อสารไร้สายและเป็นระบบการสื่อสารประเภทมิแบนด์วิทของระบบสื่อสารที่กว้างมากดังนั้นจึงสามารถส่งข้อมูลที่มีอัตราการรับส่งข้อมูลที่สูงมากได้ และระบบนี้ได้ถูกนำเสนอให้นำมาใช้ในระบบ WPAN หรือ 802.15.3a โดยที่ในการสื่อสารไร้สายแบบ Ultra-Wideband (UWB) เพื่อที่จะหาประสิทธิภาพในการใช้งานได้มากที่สุด เราควรคำนึงถึงองค์ประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่ง คือ ประสิทธิภาพของช่องสัญญาณ ซึ่ง Propagation อย่างหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพของช่องสัญญาณ ก็คือการสะท้อนของคลื่นจากพื้นดิน ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้ทำการศึกษาหาผลกระทบที่เกิดจากการสะท้อนของคลื่นจากพื้นดินนี้ขึ้นมา โดยได้ทำการจำลองสภาพแวดล้อมของพื้นผิวที่มีลักษณะต่างกันภายในอาคาร ณ อาคารวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดครั้งนี้คือเครื่อง Vector Network Analyzer (VNA) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดในย่านความถี่ตั้งแต่ 3 GHz ถึง 11 GHz โดยในโครงการนี้ได้ใช้สายอากาศแบบ Biconical Antenna และจากการวัดนี้จะได้ทำการวิเคราะห์ผลการสะท้อนจากพื้นที่มีลักษณะเป็นแบบผิวเรียบ, แบบผิวขรุขระและแบบผิวขรุขระมาก ซึ่งรูปแบบของพื้นผิวที่นำมาใช้ในการศึกษานี้จะเป็นพื้นหินขัด, พื้นทราย, พื้นหินก่อสร้าง และจะจำลองเหตุการณ์ในกรณีที่สายอากาศด้านส่งและด้านรับมีความสูงที่สูงขึ้น, สายอากาศด้านส่งสูงกว่าด้านรับ, สายอากาศด้านรับสูงกว่าด้านส่งและมุมของสายอากาศทั้งแบบแนวตั้ง และแนวนอนเข้ามาในการศึกษาด้วย แล้วจะทำการวิเคราะห์หาข้อสรุปของผลกระทบที่จะเกิดขึ้นจากการสะท้อนของคลื่นจากพื้นดิน ทั้งนี้เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือและประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารแบบ Ultra-Wideband (UWB) ให้ดีขึ้น

6.1 สรุปผลที่ได้จากการทดลอง

จากการที่ได้ทำการทดลองและ นำผลที่ได้มาวิเคราะห์สามารถเขียนถึงผลกระทบของการเกิดการสะท้อนของพื้นผิวในรูปแบบต่างๆ ที่มีผลต่อระบบการสื่อสารแบบ Ultra-Wideband จะสามารถหาข้อสรุปได้ดังนี้

ถ้าพื้นผิวมีความขรุขระมากขึ้นค่าของสัมประสิทธิ์การสะท้อนมีค่าที่สูงขึ้น ทำให้กำลังงานของสัญญาณที่ตกกระทบจะเกิดการกระจายของกำลังงานจำนวนมาก จนทำให้สัญญาณที่สะท้อนนั้นมีกำลังงานที่ต่ำมากจะส่งผลให้ค่าของ Path Loss ที่เกิดขึ้น สูงขึ้นตามไปด้วยและระยะห่างที่เพิ่มขึ้นของสายอากาศด้านส่งและด้านรับนั้นมีผลทำให้ค่าของ Path Loss สูงตามขึ้นไปด้วย ความสูงของสายอากาศที่สูงเพิ่มขึ้น ก็จะมีผลทำให้ระยะทางระหว่างสายอากาศทั้งสองมากขึ้นด้วยซึ่งทำให้กำลังงานของสัญญาณน้อยลงไปด้วยค่า ส่วนค่าของ Mean Excess Delay นี้จะขึ้นอยู่กับระยะทางของสายอากาศด้านส่งกับด้านรับเหมือนกับค่าของ Path Loss และถ้าพื้นผิวมีความขรุขระมากขึ้นก็จะมีผลทำให้ค่าเฉลี่ย Delay time ของสัญญาณหรือ Mean Excess Delay มีการเปลี่ยนแปลงคือมีค่าเพิ่มขึ้นแต่จะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยประมาณ 2 ns – 3 ns ส่วนค่าของ R.M.S Delay Spread หรือค่าการแผ่ของสัญญาณที่มาถึง นี้ขึ้นอยู่กับกำลังงานของสัญญาณที่สะท้อนจากพื้นผิวเพราะฉะนั้นในกรณีพื้นผิวเรียบกับพื้นผิวที่มีความขรุขระมาก พื้นผิวขรุขระมากจะมีผลทำให้ค่าของกำลังงานที่สะท้อนจากพื้นผิวด้านส่งต่ำกว่าพื้นผิวเรียบซึ่งจะทำให้ pulse ของสัญญาณมีความกว้างมากขึ้น ซึ่งทำให้ค่าของ R.M.S Delay Spread มากขึ้นและสุดท้าย Correlation Coefficient ที่นำมาพิจารณาหาถึงค่า Distortion มีลักษณะที่คล้ายเป็นส่วนกลับกับค่าของ Path Loss คือในระยะทางที่เพิ่มขึ้นค่าของ Correlation Coefficient จะลดลงและจากการทดลองพบว่ากรณีที่พื้นผิวที่มีขรุขระมากขึ้นค่าของ Correlation Coefficient จะลดต่ำลงตามค่าของความขรุขระแสดงว่าค่าของ Distortion ก็จะเพิ่มตามความขรุขระของพื้นผิวเพราะฉะนั้นถ้าต้องการปรับปรุง หรือยกระดับของสัญญาณทางด้านรับให้สูงขึ้นควรที่จะใช้ Matched Filter เพราะจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าถ้าใช้ Matched Filter ที่สัญญาณด้านรับจะมีผลทำให้ค่า SNR และแอมป์ลิจูดของสัญญาณด้านรับมีค่าที่สูงขึ้น

6.2 ข้อเสนอแนะและปัญหาที่เกิดขึ้น

ในงานปริญญาโทฉบับนี้ นั้นมุ่งเน้นศึกษาถึงผลกระทบของการสะท้อนที่เกิดจากพื้นผิวในรูปแบบต่างๆ ว่ามีผลอย่างไรต่อช่องสัญญาณในระบบการสื่อสารแบบ Ultra-Wideband บ้างแต่จากการทดลองและวิจัยพบว่ามีสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในระบบเป็นอย่างมาก ดังนั้นถ้าจะต้องการที่จะลบสัญญาณรบกวนจากระบบควรที่จะทำการวัดในห้องที่มีแผ่นลดการสะท้อนกันอยู่ทั่วทั้งห้องเพื่อที่จะนำผลที่ได้มาหาข้อสรุปอย่างชัดเจน และถูกต้องเพื่อนำมาปรับปรุงและพัฒนาประสิทธิภาพของช่องสัญญาณให้มีขีดความสามารถที่สูงขึ้น และสามารถทำงานร่วมกับระบบการสื่อสารไร้สายแบบอื่นๆ ได้อีกทั้งหมดไปถึง สามารถรับส่งข้อมูลในระบบสัญญาณแบบ Ultra-Wideband ให้มีความถูกต้องรวดเร็ว และดีมากยิ่งขึ้น



เอกสารอ้างอิง

- [1] IEEE Standard 802.15.1TM, June 14, 2002.
http://standard.ieee.org/getieee802/download/802.15.1-2002_sectionone.pdf
- [2] K. Siwiak, D. McKeown, "Ultra wideband radio technology", John Wiley-Sons.,Ltd, 2004.
- [3] M. Ghavami, L.B.Michael, R.Kohno, "Ultra wideband signals and systems in communication engineering," John Wiley-Sons, Ltd, 2004.
- [4] Federal Communication Commission, "Revision of part 15 of the commission's rules regarding UWB Transmission Systems," First Report, FCC 02-48, Apr. 2002.
- [5] Rappaport, T. S. *Wireless Communications : Principles and Practice (2nd Ed)*. Prentice Hall, NJ. 2002.
- [6] S. Promwong, J. Takada, N. Lertsirisporn, P. Supanakoon and Ptangtisanon, "Multi-Ray UWB Cchannel Modeling Based on Friis's Formula",
- [7] S. Promwong, J. Takada, P. Supanakoon and P. Tangtisanon, "Theoretical Ground Reflection Model for UWB Communication Systems", ISCIT 2004.
- [8] P. Supanakoon, P. Tangtisanon, S. Promwong and J. Takada, *Path Loss and Matched Filter Gain for UWB Radio Systems*,
- [9] P. Supanakoon, S. Tanchotikul, S. Promwong and J. Takada, "Ground Reflection Path Loss Considering Waveform Polarization and Ground Characteristic for UWB Communication",
- [10] J. Takada, S. Promwong and W.Hachitani, "Extension of Friis's Transmission Formula for UWB System," IEICE Tech. Rep., May 2003.
- [11] H. Budiarto, K. Horihata, K. Haneda and J. Takada, Experimental Study of Non-specular Wave Scattering Form Building Surface Roughness for the mobile propagation Modeling, IEICE Tran. Commun, Vol. E85-A, No.1 January 2002.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



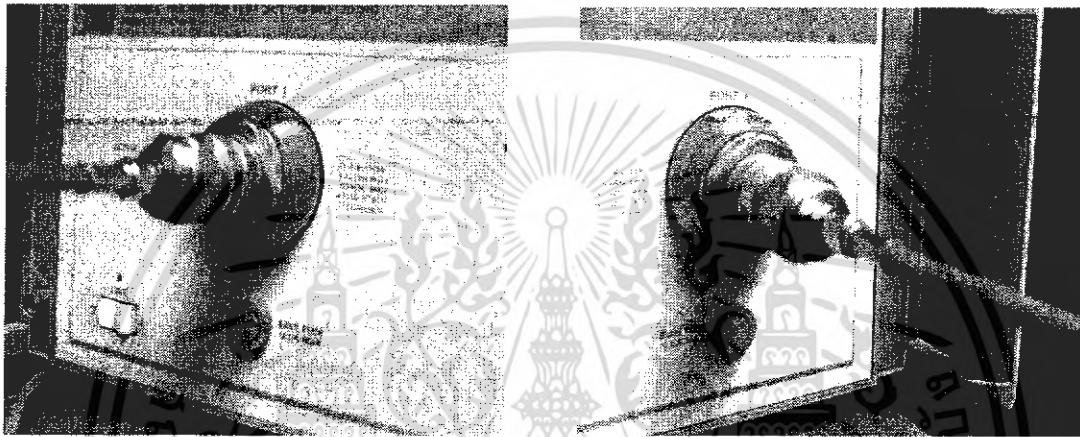
ภาคผนวก ก.
ขั้นตอนการ CAL ก่อนทำการวัดโดยใช้เครื่อง Vector Network Analyzer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ขั้นตอนการ CAL ก่อนทำการวัดโดยใช้เครื่อง Vector Network Analyzer

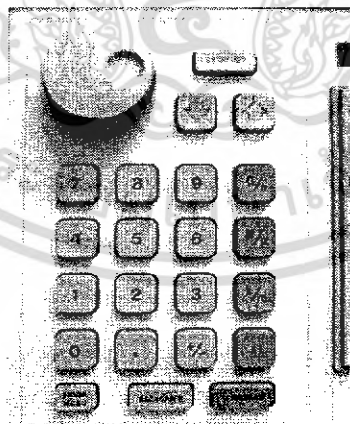
1. ทำการต่อ Connector ที่หัวต่อ PORT 1 และที่หัวต่อ PORT 2 โดยใช้สายแบบ Coaxial Cable Semirigid



PORT 1

PORT 2

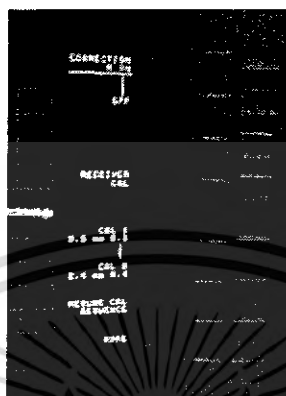
2. กด MANU ในโหมด STIMULUS



- กด START ตามด้วย กดเลขตามความถี่ที่เราต้องการใช้ และกด ENTRY OFF
- กด STOP ตามด้วย กดเลขตามความถี่ที่เราต้องการใช้ และกด ENTRY OFF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กด CAL ที่ MENU



- เลือกกดที่ CAL 1 (3.5 mm. B.3)
- เลือกกดที่ FULL (2-PORT)
- เลือกกดที่ REFLECT'N

4. ขั้นตอนต่อไปเป็นการนำชุด CAL มาใช้ในการ CAL ทำดังนี้ ที่หัวต่อ PORT 1 (S11)

- นำชุด CAL แบบ OPEN มาใส่ที่สาย Coaxial Cable (ด้านที่ไม่ได้ต่อเข้ากับเครื่อง VNA) จากนั้นกด OPEN
- นำชุด CAL แบบ SHORT มาใส่ที่สาย Coaxial Cable (ด้านที่ไม่ได้ต่อเข้ากับเครื่อง VNA) จากนั้นกด SHORT
- นำชุด CAL แบบ BROADBAND LOAD มาใส่ที่สาย Coaxial Cable (ด้านที่ไม่ได้ต่อเข้ากับเครื่อง VNA) จากนั้นกด LOAD
- เลือกกดที่ BROADBAND
- เลือกกดที่ DONE LOAD

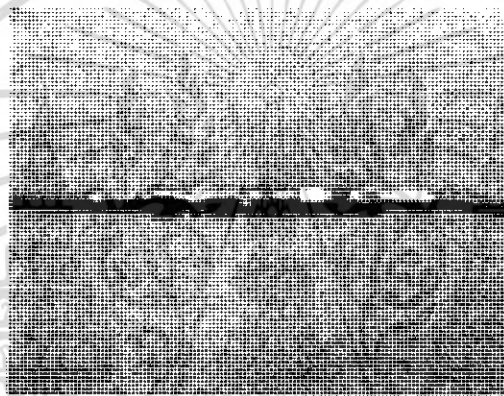
ที่หัวต่อ PORT 2 (S22)

- นำชุด CAL แบบ OPEN มาใส่ที่สาย Coaxial Cable (ด้านที่ไม่ได้ต่อเข้ากับเครื่อง VNA) จากนั้นกด OPEN
- นำชุด CAL แบบ SHORT มาใส่ที่สาย Coaxial Cable (ด้านที่ไม่ได้ต่อเข้ากับเครื่อง VNA) จากนั้นกด SHORT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นำชุด CAL แบบ BROADBAND LOAD มาใส่ที่สาย Coaxial Cable (ด้านที่ไม่ได้ต่อเข้ากับเครื่อง VNA) จากนั้นกด LOAD
- เลือกกดที่ BROADBAND
- เลือกกดที่ DONE LOAD
- เลือกกดที่ REFLECT'N DONE

5. ทำการต่อหัวต่อ ISOLATOR เข้ากับสาย Coaxial Cable ทั้งสองด้าน จากนั้นจึงทำการกด TRANSMISSION และกดเลื่อนลงมาตามลำดับคือ



- กด FWD.TRANS.THRU
- กด FWD.MATCH.THRU
- กด REV.TRANS.THRU
- กด REV.MATCH.THRU

6. กด TRANS DONE

7. กด ISOLATION

- เลือกกดที่ OMIT ISOLATION

8. กด ISOLATION DONE

9. กด SAVE (2-PORT CAL)

10. ทำการเลือกตำแหน่ง CAL SET ที่มีตั้งแต่ 1-8 ให้เลือกเก็บค่าที่ได้ทำการ CAL ไปแล้ว
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

โครงสร้างของสายอากาศแบบ 2 ทรงกรวย

สายอากาศแบบโครงสร้าง 2 ทรงกรวย (Biconical Antennas)

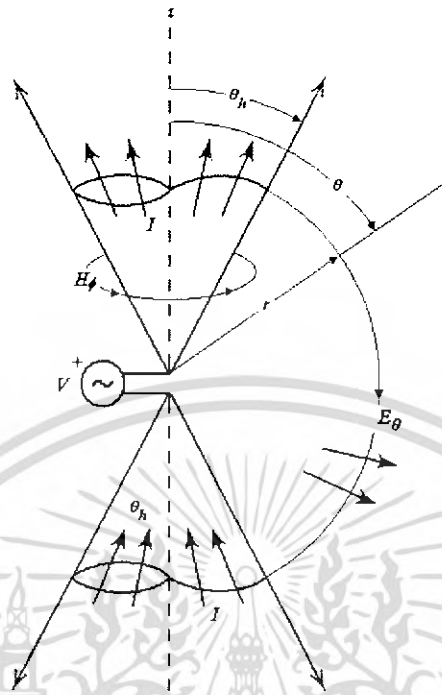
เราสามารถที่จะทำการเพิ่มขนาดของความกว้างของช่องสัญญาณ (Bandwidth) ของสายอากาศไดโพล แบบง่ายๆ (Simple Dipole Antenna) โดยการเพิ่มขนาดความหนาของสาย (Wire) ให้เพิ่มขึ้น ซึ่งวิธีการที่จะขยายความกว้างของช่องสัญญาณนี้สามารถที่จะทำได้อีกวิธี โดยการส่งผ่านตัวนำกระจายคลื่นที่มีรูปร่างแบบทรงกรวย โดยเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของสายส่งที่มีค่าคงที่ (Fixed Wire Diameter) ถูกกำหนดให้มีการเปลี่ยนค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางแบบช้าๆ และให้มุมของผิวทรงกรวยมีค่าคงที่ ในบทนี้ สายอากาศแบบโครงสร้าง 2 ทรงกรวยในอุดมคติจะถูกนำมาพิจารณาเป็นอันดับแรก ตามด้วยตัวอย่าง 2 รูปแบบ คือ สายอากาศโครงสร้างแบบ 2 ทรงกรวยแบบจำกัด (Finite Biconical Antenna) และสายอากาศแบบแผ่นกรวย (Discone)

1. สายอากาศแบบโครงสร้าง 2 ทรงกรวยแบบไม่จำกัด (Infinite Biconical Antenna)

ถ้าแบ่งครึ่งตัวนำของสายอากาศเป็น 2 ส่วน ที่มีพื้นที่ผิวหน้าตัดของทรงกรวยของตัวนำจากด้านหนึ่งถึงอีกด้านหนึ่ง (End-to-End) ของแผ่นตัวนำรูปทรงกรวย 2 อัน มีพื้นที่ที่ไม่จำกัด (Infinite Conical Conducting) แต่มีช่องว่างจำกัด (Finite Gap) ที่จุดจ่าย (Feed Point) ดังแสดงในภาพที่ ข.1

เพราะการที่มีโครงสร้างที่ไม่จำกัดนี้เอง ทำให้สามารถที่จะทำการวิเคราะห์ให้เสมือนกับเป็นสายส่ง (Transmission line) ด้วยแรงดันในค่าของเวลาที่เปลี่ยนแปลง (Time-Varying Voltage) ที่อยู่ข้ามช่องว่าง และมีกระแสไหลกระจายออกจากช่องว่างไปทั่วผิวของตัวนำ ซึ่งกระแสนี้จะทำการสร้างสนามแม่เหล็กโดยรอบ H_ϕ ถ้าสมมติว่ารูปแบบสายส่ง TEM ทุกสนาม (Field) จะทำมุมฉากกับทิศทางที่มีการเปลี่ยนแปลง (Propagation) สนามไฟฟ้า จะทำมุมกับพื้นผิวของสนามแม่เหล็กในทิศทาง θ

เมื่อเงื่อนไขที่เป็นไปได้บนส่วนยอดของรูปทรงกรวยเป็นบวก และ ส่วนท้ายของรูปทรงกรวยเป็นค่าลบ เส้นสนามไฟฟ้าจะขยายจากส่วนบนสู่ส่วนล่างของรูปทรงกรวย ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ ข.1

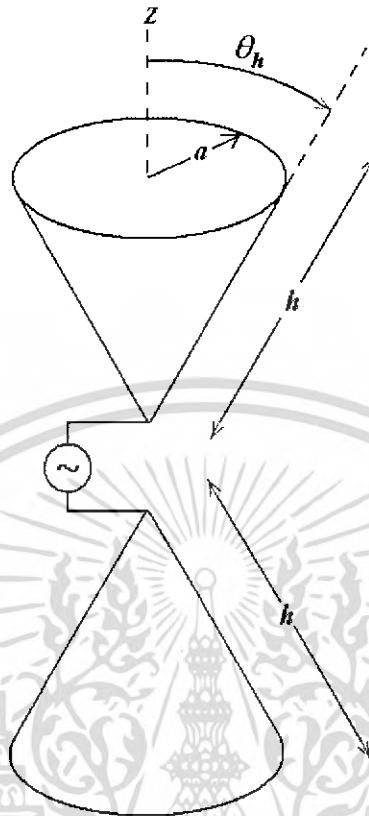


รูป ข.1 สายอากาศกรวยแบบไม่จำกัด แสดงส่วนประกอบของพื้นผิว และกระแส (I)

ถ้ารูปทรงกรวยอันหนึ่งถูกกระจายไปทั่วทุกทิศทางจากแผ่นพื้นสมบูรณ์แบบ (Perfect Ground Plane) และทรงกรวยอีกอันหนึ่งที่อยู่นอพื้นนั้นมีค่าแบบไม่จำกัด ก็จะได้ รูปแบบที่เป็น ขั้วเดี่ยว (Monopole) นี้เมื่อมี อินพุทอิมพีแดนซ์แบบ โครงสร้าง 2 ทรงกรวยแบบไม่จำกัด (Infinite Bicone) ที่มีรูปทรงกรวยที่ไม่จำกัดเพียงครั้งเดียว

2. สายอากาศแบบโครงสร้าง 2 ทรงกรวยแบบจำกัด (Finite Biconical Antenna)

ตัวอย่างของสายอากาศแบบโครงสร้าง 2 ทรงกรวย สามารถที่จะทำได้โดยการสร้าง จุดสิ้นสุดให้กับทรงกรวยทั้ง 2 ของ โครงสร้าง 2 ทรงกรวยแบบไม่จำกัด (Infinite Bicone) ซึ่งก็คือ สายอากาศแบบ โครงสร้าง 2 ทรงกรวยแบบจำกัด (Finite Biconical Antenna) ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ ข. 2 ด้านในของรูปทรงของรัศมี h รอบสายอากาศ โดยมี คลื่น TEM อยู่ด้วยกันกับ Higher-Order mode สร้างขึ้นที่ปลายของทรงกรวย ซึ่ง Higher-Order mode นี้เป็นตัวกระจายหลักให้กับสายอากาศ Reactance สาเหตุการสะท้อน (Cause Reflection) ที่ปลายของทรงกรวยที่ทำให้เกิดคลื่นแนวตั้ง (Standing wave) ที่นำไปสู่ อินพุทอิมพีแดนซ์ที่ซับซ้อนขึ้น (Complex Input Impedance)



รูป ข.2 สายอากาศกรวยแบบจุ่มน้ำ

ส่วนที่มีปฏิกิริยาตอบสนอง (Reactive Part) ของอินพุตอิมพีแดนซ์สามารถที่จะมีค่าจากน้อยที่สุดไปจนถึงความกว้างของช่องสัญญาณที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ (Progressively Wider Bandwidth) โดยการเพิ่มค่าของมุม θ_n ในรูปที่ ข.2 ณ. เวลาเดียวกันส่วนแท้จริง (Real Part) ของอินพุตอิมพีแดนซ์จะกลายเป็นว่ามีการรับรู้ถึงความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไปน้อยลง (หรือการเปลี่ยน h ในรูปที่ ข.2 สำหรับรูปทรงกรวยแบบขั้วเดียว (Conical Monopole) ที่สายอากาศอิมพีแดนซ์ถูกบันทึกค่าลงกราฟเทียบกับความสูงของขั้วเดียว (Monopole) Lh ข้อมูลที่ชัดเจนเหล่านี้ถูกแสดงให้เห็นว่า การที่จะสามารถทำให้ได้อัตราส่วนที่ 2 : 1 ของอิมพีแดนซ์ของความกว้างของช่องสัญญาณ (Impedance Bandwidth) มีความจำเป็นสำหรับส่วนหนึ่งของนิยามของสายอากาศแบบกระจายสัญญาณ (Broadband Antenna) นี่เป็นตัวอย่างแรกที่สามารถแสดงให้เห็นการขึ้นกับมุมมองของสายอากาศที่ทำมุมกับสภาพพื้นผิวบริเวณนั้นๆว่ามีรายละเอียดอย่างไรมากกว่าความยาวของสายอากาศเอง สายอากาศแบบความถี่อิสระ (Frequency-Independent Antenna) จะนำมาพิจารณาภายหลังในบทนี้ การวิจัยให้ได้ประสิทธิภาพอย่างเต็มที่ โดย ปัจจัยอื่นที่เราจะทำการสังเกตจากรูปแบบของสายอากาศแบบการกระจายสัญญาณ (Broadband Antenna) และ สายอากาศแบบความถี่อิสระ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Frequency-Independent Antenna) คือ ความสำคัญของขนาดอย่างน้อยที่สุดที่ $\lambda/4$ ให้ทำการพิจารณาอย่างช้าๆ เริ่มตั้งแต่ ความสูงของรูปทรงกรวยแบบขั้วเดียว (Conical Monopole) มีค่าประมาณ $\lambda/4$ และขยายออกไปเป็น $\lambda/2$

รูปแบบของรูปทรงกรวยแบบขั้วเดียว (Conical Monopole) หรือ โครงสร้าง 2 ทรงกรวยแบบจำกัด (Finite Biconical) ที่มีมุมของทรงกรวยมีขนาดเล็ก จะเหมือนกับ สายอากาศขั้วเดียวแบบดั้งเดิม (Ordinary Monopole) หรือ ไดโพล (Dipole) ที่มีขนาดของความยาวเท่ากัน

รูปแบบธรรมดาที่สุดของ สายอากาศแบบ โครงสร้าง 2 ทรงกรวยแบบจำกัด (Finite biconical antenna) คือ สายอากาศร่วมแบบ โบว์ไทด์ (Common "bow-tie" Antenna)

6.3.3 สายอากาศแบบแผ่นกรวย (Discone Antenna)

ถ้าทรงกรวยข้างหนึ่งของสายอากาศแบบ โครงสร้าง 2 ทรงกรวยแบบจำกัด (Finite Biconical Antenna) ถูกแทนที่ด้วยตัวนำแบบรูปทรงเป็นแผ่น (Disk-Shaped Ground Plane) โครงสร้างก็จะเปลี่ยนเป็นรูปแบบ แผ่นกับทรงกรวย (Disk-Cone) หรือเรียกว่า สายอากาศแบบแผ่นกรวย (Discone Antenna) จากรูปที่ 6-19 สายอากาศแบบแผ่นกรวย (Discone Antenna) นี้ ถูกค้นพบโดย Kandoian [16] ในปี ค.ศ. 1945 ภายหลังจากการศึกษาการออกแบบการทดลอง [17, 18] หลายปี มันใช้สำหรับ Vertical Polarization (แบบเดียวกับ Vertical dipole) และคล้ายกับรูปแบบการครอบคลุมพื้นที่แบบ azimuth (คือ รูปแบบ Omnidirectional) รูปแบบแผ่นกรวยนี้ช่วยให้ความพึงพอใจในการใช้งานบนช่วงความถี่กว้าง (Wide frequency range) คือ Octave ทั่วไป (Several Octave) ขณะที่พยายามที่จะรักษารูปแบบที่ยอมรับได้และ พื้นที่บริเวณของอิมพีแดนซ์ (Impedance Property)

รูปแบบแผ่นกรวย จะมีตัวเก็บประจุภายนอก (Outer Conductor) ของสายส่ง Coaxial ที่ถูกเชื่อมต่อกับทรงกรวยด้านหนึ่ง และ ตัวเก็บประจุภายใน (Inner Conductor) ที่สัมผัสกับแผ่น (Ground Plane) ทั้งทรงกรวยและแผ่นนี้จะสามารถที่จะเป็น โลหะแข็ง (Solid Metal) หรือ Radial Wire โดยอุดมคติ รูปแบบระหว่าง Ground Plane และ ทรงกรวย เป็นของ โครงสร้าง 2 ทรงกรวยแบบไม่จำกัด (Infinite Bicone) รูปแบบ Omnidirectional นี้จะเหมาะสมกับการประยุกต์การกระจายสัญญาณ (Broadcast Application)